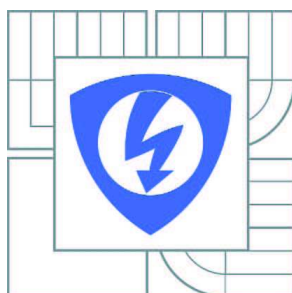


# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNologiÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## REALIZACE GRAVÍROVACÍHO PŘÍSTROJE PRO VYKRESLOVÁNÍ GRAFIKY

PROJECT OF ENGRAVING DEVICE FOR GRAPHICS CREATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

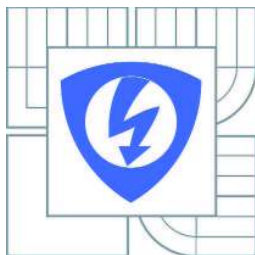
Bc. VOJTĚCH HLOŽEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL HORÁK, Ph.D.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Vojtěch Hložek

**ID:** 98125

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Realizace gravírovacího přístroje pro vykreslování grafiky**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace gravírovacího zařízení pro přenos snímku (bitmapy, vektorového obrazu) pomocí gravírování (laserem, perem) na vhodné médium (dřevo, plast, papír). K realizaci projektu je možné využít stávající plotrovací zařízení.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HLAVÁČ, Václav, SEDLÁČEK, Miloš. Zpracování signálů a obrazů. Praha : ČVUT, 2005. 255 s. ISBN 80-01-03110-1.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 23.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Karel Horák, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat zařízení, které by bylo schopné přenést zadaný snímek (bitmapu, vektorový obraz) na podkladový materiál. Základ celého zařízení tvoří plotter ovládaný dvěma krokovými motory. Samotné gravírování zajišťuje fix umístěný na pohyblivé části gravírovací hlavy.

Pro ovládání celého zařízení byla vytvořena deska plošných spojů, na níž jsou umístěny napájecí zdroje, mikrokontroler a obvody řízení motorů a gravírovací hlavy.

Druhá část práce zahrnuje program mikrokontroleru a uživatelské rozhraní v osobním počítači, ze kterého je zadaný snímek přenesen do mikrokontroleru. Tam je následně zpracován a na základě řídicího programu zařízením vygravírován.

## **Klíčová slova**

Gravírování, laser, plotter, mikrokontroler, AT89C51ED2, krokový motor, bitmapa, vektorová grafika, SVG.

## **Abstract**

The objective of this master's thesis is to design and implement a system which would be able to transfer a picture (either a bitmap or a vector image) on a foundational material. The main part of the apparatus consists of a plotter controlled by two stepping motors. The engraving itself is provided by a marker mounted to a movable part of engraving head.

There was a PCB created for controlling the entire system. It contains power supplies, a microcontroller and motor and engraving head controlling circuits.

The second part of the thesis shows a microcontroller program and a user interface in a PC. The image is trasfered from the PC into the microcontroller where it is processed and, based on the controlling program, engraved to the material.

## **Keywords**

Engraving, laser, plotter, microcontroller, AT89C51ED2, stepping motor, bitmap, vector graphics, SVG.

### **Bibliografická citace:**

HLOŽEK, V. *Realizace gravírovacího přístroje pro vykreslování grafiky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 78 s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Karel Horák, Ph.D.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Realizace gravírovacího přístroje pro vykreslování grafiky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Horákovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Pavlu Čípovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod .....	11
2	Gravírovací metody .....	12
2.1	Mechanické gravírování .....	13
2.1.1	Pantograf .....	13
2.1.2	Automatické gravírky .....	14
2.1.3	Nástroje pro mechanické gravírování .....	15
2.2	Gravírování vodním paprskem .....	16
2.3	Gravírování laserem .....	19
2.3.1	Princip funkce laseru .....	19
2.3.2	Plynový CO2 laser .....	20
2.3.3	Pevnolátkové Nd:YAG lasery .....	21
2.3.4	Výkonové diodové lasery .....	22
3	Původní plotter a krokové motory .....	24
3.1	Dvouosý plotter .....	24
3.2	Rotační krokový motor - teorie .....	26
3.2.1	Popis a vlastnosti .....	26
3.2.2	Složení rotačního krokového motoru .....	27
3.2.3	Typy krokových motorů .....	27
3.3	POWERMAX II .....	30
3.3.1	Parametry motoru .....	31
3.3.2	Typy zapojení .....	31
4	Návrh gravírovacího zařízení .....	33
4.1	Funkční schéma .....	33
4.2	Napájecí zdroje .....	34
4.2.1	Pro mikrokontroler a gravírovací hlavu .....	34
4.2.2	Pro obvody řízení krokových motorů .....	35
4.3	Mikrokontroler .....	37
4.3.1	Atmel AT89C51ED2 .....	37
4.3.2	Zapojení mikrokontroleru .....	38
4.3.3	Komunikace s PC .....	40
4.4	Obvody řízení krokových motorů .....	41
4.5	Obvod pro gravírovací hlavu .....	44
4.6	Pomocné obvody .....	45

4.6.1	Pro připojení displaye.....	45
4.6.2	Pro napájení optických závor .....	46
5	Řídicí program mikrokontroleru.....	47
5.1	Úvodní část programu .....	47
5.1.1	Inicializace displaye .....	48
5.1.2	Další funkce pro display .....	50
5.2	Řízení krokových motorů a gravírovací hlavy .....	51
5.2.1	Krokové motory .....	51
5.2.2	Inicializace plotteru .....	52
5.2.3	Gravírovací hlava .....	54
5.3	Hlavní program.....	55
5.3.1	Gravírování bitmapy.....	56
5.3.2	Gravírování vektorové grafiky .....	59
6	Popis uživatelského rozhraní.....	70
6.1	Zadání parametrů bitmapy .....	70
6.2	Zadání parametrů vektorové grafiky .....	71
6.2.1	Manuální režim .....	72
6.2.2	Automatický režim.....	72
7	Zařízení GRAVIR 2011 .....	73
8	Závěr.....	76



## Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Příklad gravírování – raznice [17].....	12
Obrázek 2.2: Pantograf Gravograph IM3 [2].....	14
Obrázek 2.3: Gravírovací plotter Gravograph IS 400 [4].....	15
Obrázek 2.4: Frézky – a) kuželová půlená b) kuželová čtvrcená [2] .....	16
Obrázek 2.5: Rotační diamantový hrot [2] .....	16
Obrázek 2.6: Grafika vytvořená vodním paprskem [5] .....	17
Obrázek 2.7: Efekt váznutí vodního paprsku [5].....	18
Obrázek 2.8: Princip laseru – 1) aktivní prostředí 2) zdroj záření 3) odrazové zrcadlo 4) polopropustné zrcadlo 5) laserový paprsek [8] .....	19
Obrázek 2.9: Experiment s laserovými paprsky [8] .....	20
Obrázek 2.10: Rezonátor laseru od společnosti Trumpf [11].....	21
Obrázek 2.11: Nd:YAG laser Rofin [14].....	22
Obrázek 2.12: Diodový laser Rofin [9] .....	23
Obrázek 3.1: Dvouosý plotter se dvěma krokovými motorky.....	25
Obrázek 3.2: Detail posuvu plotteru .....	25
Obrázek 3.3: Součásti krokového motoru – stator a rotor [20] .....	27
Obrázek 3.4: Konstrukce krok. motoru s pasivním rotorem [18].....	28
Obrázek 3.5: Krokový motor s rad. polariz. magnetem a jeho budicí signály [23].....	29
Obrázek 3.6: Hybridní krokový motor [22].....	30
Obrázek 3.7: Bipolární zapojení a tabulka řízení fází [24].....	32
Obrázek 3.8: Unipolární zapojení a jeho tabulka řízení fází [24] (o = off or open, CW/CCW = otáčení po/proti směru hod. ručiček) .....	32
Obrázek 4.1: Blokové schéma gravírovacího zařízení .....	33
Obrázek 4.2: Napájení mikrokontroleru a gravírovací hlavičky.....	34
Obrázek 4.3: Napájení budicích obvodů krokových motorů.....	36
Obrázek 4.4: Svorky pro připojení mikrosplínačů a ochranné relé .....	36
Obrázek 4.5: Vnitřní schéma AT89C51ED2 [25] .....	38
Obrázek 4.6: Obvodové schéma mikrokontroleru s I/O porty.....	39
Obrázek 4.7: Převodník úrovní MAX232.....	40
Obrázek 4.8: Dvojice H-můstků pro řízení KM [23].....	41

Obrázek 4.9: Výkonové budiče krokových motorů.....	42
Obrázek 4.10: Schéma obvodu gravírovací hlavy .....	44
Obrázek 4.11: Připojení LCD k DPS.....	45
Obrázek 4.12: Napájení optických závor.....	46
Obrázek 5.1: Vývojový diagram programu mikrokontroleru .....	47
Obrázek 5.2: Vývojový diagram sekvence pro inicializaci displaye.....	49
Obrázek 5.3: Vývojový diagram výpisu znaků funkcí PUTCHAR.....	50
Obrázek 5.4: Vývojový diagram řízení KM .....	52
Obrázek 5.5: Vývojový diagram inicializace plotteru .....	53
Obrázek 5.6: Vývojový diagram ovládání gravírovací hlavy.....	54
Obrázek 5.7: Vývojový diagram první části hlavního programu .....	56
Obrázek 5.8: Vývojový diagram funkce BITMAP a TEXT.....	57
Obrázek 5.9: Vývojový diagram funkce UROVNE .....	58
Obrázek 5.10: Vývojový diagram funkce VECTOR a TEXT2.....	60
Obrázek 5.11: Vývojový diagram funkce GRAFIKA .....	61
Obrázek 5.12: Vývojový diagram vektorové grafiky - obdélník.....	62
Obrázek 5.13: Vývojový diagram rutiny INI_BOD .....	63
Obrázek 5.14: Vývojový diagram vektorové grafiky - kružnice .....	64
Obrázek 5.15: Vývojový diagram rutiny INI_BOD2 .....	65
Obrázek 5.16: Zdrojový kód části programu pro grav. kružnice (1. a 3. kvadrant) .....	66
Obrázek 5.17: Vývojový diagram vykreslování přímek ve dvou osách.....	67
Obrázek 5.18: Vývojový diagram vektorové grafiky - úsečka .....	68
Obrázek 5.19: Zdrojový kód rutiny LOW .....	69
Obrázek 7.1: Základní část GRAVIR 2011 – plotter s grav. hlavou.....	73
Obrázek 7.2: Deska plošných spojů s LCD .....	74
Obrázek 7.3: Bitmapa 174x26 bodů, parametr rozlišení = 10 .....	74
Obrázek 7.4: Vektorová grafika – obdélníky (manuální i automatický režim) .....	75
Obrázek 7.5: Vektorová grafika – kružnice a úsečky (manuální i automat. režim) .....	75

# 1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce bylo nejprve navrhnout koncepci zařízení schopného přenést grafiku (bitmapu nebo vektorový obraz) na podkladový materiál (dřevo, plast, papír) a poté jej realizovat za pomoci dostupných prostředků. Jako prvek sloužící ke gravírování měl být využit laserový paprsek nebo fix.

Úvodní část práce se zabývá popisem technologií používaných pro účely gravírování. Především pak těmi, se kterými se v dnešní době lze setkat nejčastěji a jejichž vývoj jde pořád dále. Jedná se tedy o klasické mechanické gravírování, pomocí vodního paprsku a rychle se rozvíjející (a na trhu značně zastoupené) gravírování laserovým paprskem.

Třetí kapitola se zabývá technickým popisem již existujícího plotteru, který byl při realizaci této diplomové práce použit jako základ pro vytvoření gravírovacího zařízení. Je zde také rozebrán princip v dnešní době nejčastěji používaných typů krokových motorů – s pasivním a s aktivním rotorem.

Následuje technický popis realizovaného přístroje GRAVIR 2011 z hlediska hardware a software. Pro řízení celého přístroje byla navržena deska plošných spojů, která v sobě zahrnuje čtyři napájecí zdroje, budicí obvody pro napájení krokových motorů a gravírovací hlavy, mikrokontroler řídící celý gravírovací přístroj a display pro zobrazení zpráv o stavu procesu. Původní plotter byl osazen bezpečnostními mikropínači a optickými závorami určenými k inicializaci požadované polohy.

Softwarová část této práce se skládá z vytvořeného programu mikrokontroleru a uživatelského rozhraní, ve kterém si uživatel vybere, zda chce gravírovat bitmapu nebo vektorovou grafiku (ta může být zadána pomocí několika parametrů ručně nebo nahrána ze souboru typu SVG). Příklad grafiky, která byla gravírovacím přístrojem vytvořena, je uveden na závěr práce.

## 2 GRAVÍROVACÍ METODY

Pokud bychom se podívali do technického slovníku, zjistili bychom, že termín gravírování pochází z francouzštiny, kde v původním slova smyslu označoval rytí do povrchu tvrdých materiálů (jako jsou kovy, minerály, kámen, sklo apod.) [1]. Průmyslové strojové gravírování, o kterém je celá tato rešerše, ve svém principu navazuje na tento staletí používaný postup rytí, avšak převedený pomocí moderních technologií a strojů do průmyslové podoby. Tím dochází k velmi rychlému a přesnému zobrazení požadovaného obrazu do patřičného materiálu.

Samotné strojové gravírování (dále jen „gravírování“) je technologie, se kterou se v dnešní době můžeme setkat téměř kdekoli. Např. na štítcích na dveřích či skříňkách, jmenovkách, orientačních cedulích, různých plakétách a trofejích, používá se k vytváření razítek, raznic (viz Obrázek 2.1) i dárkových a reklamních předmětů, nemazatelnému značení součástek atd.



**Obrázek 2.1: Příklad gravírování – raznice [17]**

Hlavním principem gravírování je odebírání požadované části z původního materiálu tak, aby v něm vzniknul požadovaný obraz. Toho se dosahuje pomocí tří nejčastěji používaných metod: mechanického gravírování, vodním paprskem a laserem. Každá z nich má své výhody a nevýhody dané složitostí technologie a jejími možnostmi a hodí se více či méně pro určitý typ materiálu či pracovní nasazení.

## 2.1 Mechanické gravírování

Mechanické gravírování bylo prvním ze tří dnes používaných metod strojového gravírování, jelikož principem vychází z původního rytí pomocí mechanických nástrojů.

Mechanické gravírování je stále velmi rozšířeno především díky své jednoduchosti, nízké investiční náročnosti a v neposlední řadě také díky dostatečné produktivitě [1].

Můžeme se zde setkat se dvěma základními postupy. Prvním je gravírování, kde se do povrchu předmětu ryje pomocí speciálních vysokorychlostních frézek a druhým je rytí pomocí speciálního diamantového hrotu. Z hlediska nutnosti obsluhy dělíme mechanické gravírovací stroje na dva druhy – pantografy a automatické gravírky. Jejich popis je uveden níže.

### 2.1.1 Pantograf

Ještě před vynalezením dnešních moderních frézovacích systémů (plně automatických gravírek) zastupoval roli stroje pro mechanické frézování tzv. rycí pantograf (viz Obrázek 2.2). Ten se sice používá a dokonce vyrábí (např. firma Gravograph a Technifor) i dnes, ale již v menší míře.

Rycí pantograf je stroj založený na práci soustavy pák, táhel a kloubů. Do snímací části stroje se umístila zvětšená kopie výsledného produktu (např. písmena či jednoduché piktogramy), která byla přesně snímána vodícím prvkem (tvořeným nejčastěji vodícím kolíkem), který přenášel svůj pohyb na pohyb rycí frézky [3].

Výhodou tohoto stroje je jednoduchost a nízká cena, nevýhod je však více. Jde především o nutnost předem vyhotovit zvětšený vzor obrazu, který bude na konečný produkt přenášen. Dále jsou nevýhodami nízká rychlost gravírování a omezenost při změně požadované velikosti gravírované plochy.



**Obrázek 2.2: Pantograf Gravograph IM3 [2]**

### **2.1.2 Automatické gravírky**

Tyto speciální CNC stroje určené pro mechanické gravírování jsou již plně řízený počítačem a dosahují vysokého stupně automatizace (viz Obrázek 2.3). Poskytují mnoho možností, jak zacházet s gravírovací frézou nebo diamantovým hrotem tak, aby byl výsledný produkt vygravírován rychle, přesně za co nejnížší cenu. Mezi nejznámější výrobce automatických gravírek patří např. společnosti Gravograph, Roland, Mimaki, Lang, Kuhlmann, Ungricht nebo Baublys.

Posun frézovací hlavy se může provádět ve třech osách, takže lze vytvořit motiv s různou úrovní frézování, čehož se využívá např. u tzv. sandwichových materiálů (viz níže). K posunu frézovací hlavy slouží servomechanizmy, jejichž tuhost také udává ve velké míře přesnost celé soustavy automatické gravírky. Při gravírování např. do kovu totiž dochází ke značnému namáhání ve všech osách.

Nejvyšší přesnosti se dosahuje použitím šroubového pohybového mechanismu a pomocí kluzného nebo valivého uložení [2]. Horší přesnosti je dosahováno u strojů, kde jsou pohyblivé části „tahány“ ozubenými řemeny, případně lanky. Přesnost gravírování je ovlivněna také jemností kroků krokových motorů, které řídí pohyb v osách  $x - y$ .

Automatické gravírky by se daly rozdělit podle několika kritérií (typ použití, rozměry gravírovaného povrchu, typ materiálu, pracovní nasazení) na [4]:

1. **Malé gravírky** – pro malé povrchy a jednoduchou grafiku (např. nabalení textu na kružnici, deformace textu), jejich výhodou je rychlost zpracování jednotlivých gravur.
2. **Gravírovací a rytecké plottery** - jsou to velmi tuhé stroje vhodné pro frézování, vrtání a gravírování. Velikost opracovávané plochy se pohybuje od 10x10 cm do 100x100 cm. Možnost práce i ve 3D, rozsah otáček hlavy od 8 do 60 tisíc ot. /min.
3. **Gravírovací plottery pro gravírování do rotačních předmětů** – jsou to plottery, u nichž je pohyb stolu v jedné ose nahrazen rotací obráběného předmětu. Tyto stroje se používají pro rytí a gravírování do pohárů a podobných rotačních předmětů.
4. **Univerzální deskové plottery** - oproti klasickým plotterům se vyznačují především tím, že po výměně hlavy umožňují i kreslení a řezání např. fólií. Pracovní deska může mít rozměr až 2x3 m.

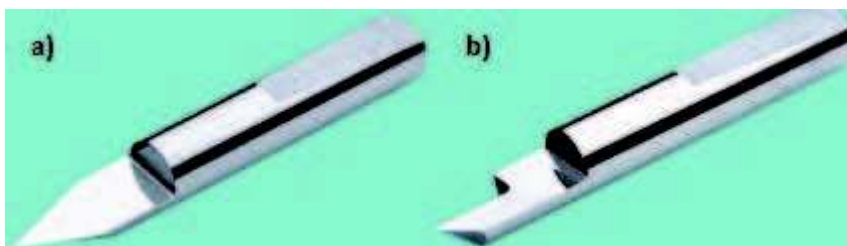


Obrázek 2.3: Gravírovací plotter Gravograph IS 400 [4]

### 2.1.3 Nástroje pro mechanické gravírování

Jak již bylo uvedeno výše, pro účely mechanického gravírování se jako nástroje používají speciální druhy frézek nebo diamantové hroty. Obě tyto technologie mají své specifické druhy aplikací. Zatímco diamantový hrot se aplikuje především tam, kde je malý odběr materiálu a je odebírán v jedné rovině, frézování se využívá v případech, kdy je požadováno odebírání materiálu v různých úrovních hloubky. Bližší parametry jednotlivých nástrojů [2] jsou popsány níže:

1. **Frézky** - Průměr dřívku bývá standardně 3,17 mm, 4,36 mm a 6,35 mm. Používají se ale i frézky s průměry 3 mm, 4 mm a 6 mm. Klasické frézy jsou buď z tvrdokovu (karbidové, CC) nebo z rychlořezné oceli (HSS). Kuželové půlené frézy se dodávají nabroušené na úhel břitu např. 23° a 30°. Průměr frézované drážky může být od 0,25 do 4 mm. Obrázek 2.4 znázorňuje některé typické frézy.



**Obrázek 2.4: Frézky – a) kuželová půlená b) kuželová čtveřcenná [2]**

2. **Diamantové hroty** – mívají stejný průměr dřívku jako frézky a dělí se na tyto typy: nerotační (pro jemné gravírování např. do zlata), rotační (pro gravírování do tvrdých křehkých materiálů jako je sklo, mramor), jenž má lehce vyosenou špičku a diamantové korunky (vhodné pro větší gravury). Obrázek 2.5 zobrazuje rotační diamantový hrot.



**Obrázek 2.5: Rotační diamantový hrot [2]**

## 2.2 Gravírování vodním paprskem

Podstatou této metody, která není zatím tak rozšířena oproti jiným metodám (laser, mechanické gravírování), je mechanicko-fyzikální proces odebrání materiálu z podkladu následkem dopadu úzkého vodního proudu s vysokou rychlostí a velkou kinetickou energií na jeho povrch. V anglické literatuře se tento princip nazývá microchipping. Efekt samotného dopadu vodního paprsku na materiál může být navíc ještě zvýšen přidáním jemného hydroabrazivního materiálu do paprsku [5]. Ve světě se lze setkat s touto technologií pod názvem AWJ (Abrasive Water Jet) nebo WJM (Water



Jet Machining). Výrobci AWJ/WJM zařízení jsou např. KMT, Kimtech, STM, Ridder, Maximator JET, AquaCut nebo AWAC.

Gravírování povrchu vodním paprskem má celou řadu výhod oproti konvenčním metodám (jejich popis je uveden níže), ale i jistá omezení. Např. při gravírování do silnějších materiálů, kdy je nutno použít silnějšího paprsku (cca 0,5 až 2,5 mm, oproti 0,2 mm do měkkých materiálů) je do povrchu vytvarován jakýsi hrubší reliéf a velmi jemné detaily požadovaného obrazce jsou následně dotvořeny lidskou rukou (viz Obrázek 2.6). Specialista je již dobrousí pomocí některého z konvenčně užívaných nástrojů (např. pomocí ruční frézky nebo diamantového hrotu).

Při tvorbě plastických reliéfů se využívá tak toho, že paprsek postupně odebírá jednotlivé vrstvy materiálu a vytváří tak požadovaný prostorový či barevný efekt, který vznikne např. při použití vícevrstevných materiálů (plasty, eloxovaný hliník nebo kombinace dvou plastů či plastu s kovem).



**Obrázek 2.6: Grafika vytvořená vodním paprskem [5]**

V následující části jsou rozebrány výhody použití technologie AWJ/WJM oproti mechanickému gravírování či gravírování laserem a všeobecné nevýhody [6]:

**Výhody vodního paprsku vůči mechanickému gravírování:**

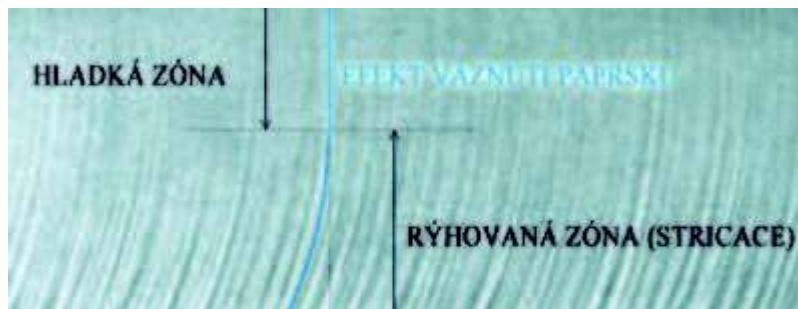
- umožňuje gravírovat prakticky všechny typy materiálů (křehké, hůře obrobitelné, pružné)
- odstraněný materiál neulpívá na frézce, protože je odváděn proudem vody pryč
- nejsou „vytahovány“ a odštěpovány okraje obrobku

### **Výhody vodního paprsku vůči gravírování laserem:**

- na rozdíl od použití laseru, je technologií AWJ možno gravírovat sklo, minerály, keramiku, ale i materiály hořlavé či tepelně citlivé
- nedochází ke vzniku jedovatých nebo karcinogenních látek
- nemůže dojít ke vznícení nebo přílišného vypálení materiálu

### **Nevýhody gravírování technologií AWJ/WJM:**

- vliv vlhkého prostředí na materiál (je nutno znát hodnotu relativní nasákavosti, hloubku pronikání vody a intenzitu ovlivnění materiálu vodou - koroze).
- nejmenší možné zaoblení vnitřních rohů se vztahuje k průměru vodního paprsku a tedy k tloušťce a tvrdosti materiálu
- při gravírování (a také řezání) do větších hloubek dochází k váznutí vodního paprsku a jeho úkosu (viz Obrázek 2.7) – to se ale může v některých případech jevit jako výhoda, pomocí které lze dosáhnout zajímavého grafického efektu (při použití vhodného materiálu a podsvícení)



**Obrázek 2.7: Efekt váznutí vodního paprsku [5]**

### **Historie vzniku metody AWJ/WJM [7]:**

K prvnímu využití technologie vysokotlakého vodního paprsku došlo zhruba ve třicátých letech v amerických dolech. Mělo sloužit k dělení kamenů a uhlí a jejímu snadnějšímu dopravování na povrch.

Ve druhé polovině dvacátého století se pak přišlo na možnost přidávání abrazivních materiálů do vodního paprsku, čímž by byl zvýšen účinek řezání. Tím pak mohlo dojít k řezání tvrdších materiálů a kovů.

V dnešní době dochází k neustálému rozvoji této technologie a to především ve dvou směrech – zvyšování pracovního tlaku (v dnešní době až 6200 barů) a snaze eliminovat efekt váznutí paprsku (pomocí úprav řídicího programu).

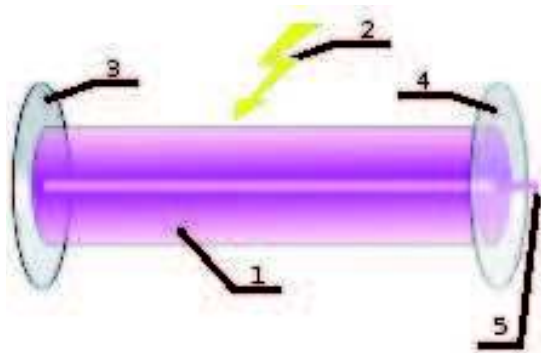
## 2.3 Gravírování laserem

V této části kapitoly o gravírovacích metodách je rozebrána samotná technologie gravírování laserem od samého principu, přes typy používaných laserů až po možnosti a výhody/nevýhody, které poskytuje.

### 2.3.1 Princip funkce laseru

Na úvod bych chtěl poznamenat, že slovo „laser“, které v češtině již zdomácnělo, vychází ze zkratky LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – světlo zesilované stimulovanou emisí záření) [8].

Produktem zařízení označovaného jako laser je elektromagnetické záření (jak viditelné – světlo, tak i neviditelné). Toto světlo je ze svého zdroje (viz Obrázek 2.8) vyzařováno ve formě úzkého světelného paprsku, který je koherentní (má tedy stejný směr, frekvenci, fázi i polarizaci), monochromatický a má nízký rozptyl. Směr tohoto paprsku (světelného svazku) se poté určuje pomocí zrcadel.



**Obrázek 2.8: Princip laseru – 1) aktivní prostředí 2) zdroj záření 3) odrazové zrcadlo 4) polopropustné zrcadlo 5) laserový paprsek [8]**

Aktivním prostředím se rozumí materiál s vysokou čistotou, o určité velikosti, tvaru a hustotě. Může to být plyn, pevný nebo kapalný materiál či plazma. Zdrojem záření je zařízení produkující energii (např. výbojka), která v aktivním prostředí vybudí elektrony ze základní energetické hladiny do vyšší. Poté co dojde k takovému vybuzení u většiny elektronů – tzv. inverzi populace [8].

Poté co dojde k přestupu určité části elektronů zpět na nižší energetickou hladinu, následuje vyzáření kvanta energie ve formě fotonů. Poté dochází k následné interakci mezi těmito fotony a elektrony inverzní populace a vzniká tak žádaná stimulovaná emise. Tyto nově vytvořené fotony mají přitom stejnou frekvenci a fázi jako jejich předchůdci.

Díky tzv. rezonátoru (soustava nepropustného a polopropustného zrcadla) dochází k neustálému odražení vytvořeného laserového paprsku, který prochází aktivním prostředím a tím tak ještě podporuje stimulovanou emisi. Laserový paprsek (viz Obrázek 2.9) pak opouští rezonátor, teprve až dosáhne určité úrovně energie.



**Obrázek 2.9: Experiment s laserovými paprsky [8]**

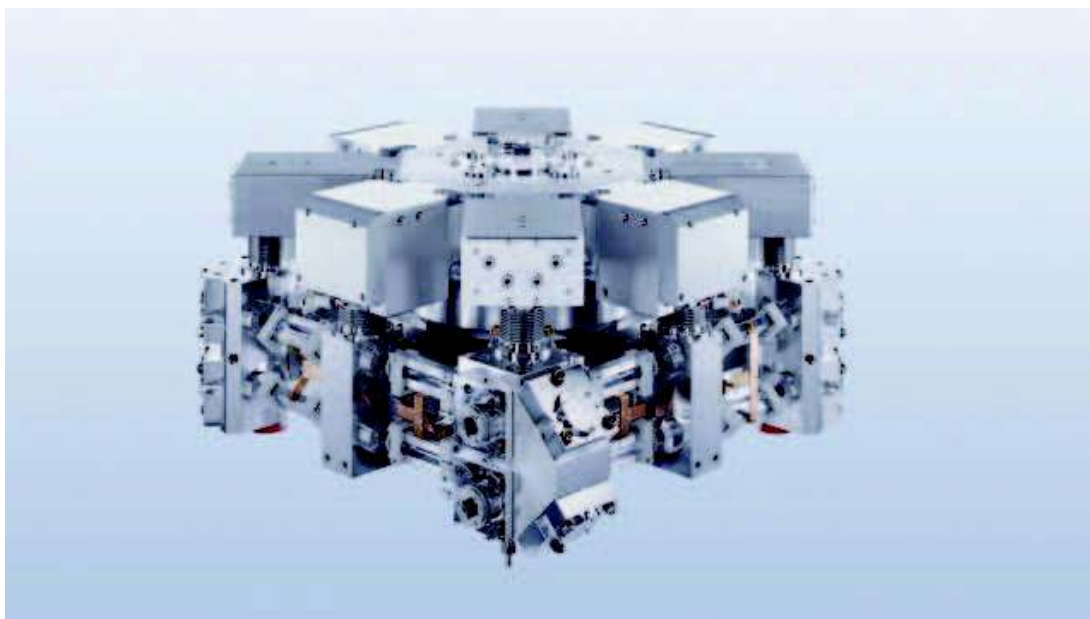
#### **Typické aplikace laseru:**

V dnešní době se s lasery můžeme setkat v mnoha odvětvích průmyslu (řezání, svařování a gravírování laserem), zdravotnictví (např. operace očí), vojenství, počítačové technice (optické mechaniky), stavebnictví (laserové dálkoměry), výzkumu či kosmetickém průmyslu.

### **2.3.2 Plynový CO<sub>2</sub> laser**

Jak již název napovídá, jedná se o laser, který jako aktivní prostředí využívá plynu oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), který je navíc smísen s dusíkem (N<sub>2</sub>) a héliem (He) v určitém poměru. Jedná se o jeden z nejstarších, ale v dnešní době velmi často používaných laserů pro gravírování. Byl vynalezen v roce 1964 Kumarem Patelem v Bell Laboratories [10]. Mezi jejich přední výrobce v dnešní době patří společnosti Trumpf (viz Obrázek 2.10), Rofin – Sinar, Trotec nebo Kern.

Vlnová délka jeho infračerveného záření je cca 10,6  $\mu\text{m}$  [9]. Jejich účinnost může být až okolo 20 %. K buzení těchto laserů se využívají především stejnosměrné el. výboje. Zrcadla bývají z důvodu infračerveného záření postříbřena nebo pozlacena, čočky pak z germania nebo selenidu zinečnatého (ZnSe).



**Obrázek 2.10: Rezonátor laseru od společnosti Trumpf [11]**

**Podle výkonu lze CO<sub>2</sub> lasery rozdělit do několika kategorií:**

1. s malým výkonem – do cca 500 W, pro účely gravírování
2. se středním výkonem – do cca 6 kW, pro řezání plechů, trubek, profilů
3. s vysokým výkonem – do cca 25 kW, pro průmyslové svařování
4. experimentální – výkon špičkově až GW

CO<sub>2</sub> lasery vytvořené pro účely gravírování jsou většinou schopny pracovat s těmito materiály: dřevo, plasty, kůže, kámen (žula, mramor) a potažené kovy (vrchní krycí vrstva je tvořena chemikálií na vodní bázi) [12].

Jednou z podstatných nevýhod CO<sub>2</sub> laserů je to, že oproti pevnolátkovým a diodovým laserům nemohou vést výstupní laserový paprsek od jeho zdroje k místu použití optickým vláknem. Tento nedostatek se projevuje především u robotizovaných pracovišť [9]. Výrobci laserů se tedy snaží co nejvíce snižovat hmotnost zařízení tak, aby je bylo možné umístit přímo na rameno robota (např. 1 kW laser Trumpf TruCoax váží 200kg).

### **2.3.3 Pevnolátkové Nd:YAG lasery**

Pevnolátkový znamená, že se jedná o typ laseru, jehož aktivním prostředím je pevná látka – krystalický materiál (krystal), případně amorfni látka, dopované příměsí vhodných plynů. Nd:YAG ve zkratce znamená neodýmium-doped yttrium aluminium

garnet (chemicky  $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ) - yttrito-hlinitý granát (YAG) je tedy dopován ionty neodymu (Nd) [13].

První prototyp pevnolátkového laseru vznikl již v roce 1960 a dnešní moderní Nd:YAG lasery (viz Obrázek 2.11) se od něj v principu příliš neliší. Vlnová délka jejich záření je  $1,064\text{ }\mu\text{m}$  a zdrojem energie jsou buď výbojky, nebo laserové diody. U klasického provedení těchto laserů se aktivní prostředí formuje do tvaru válečku.

Podobně jako u plynových laserů, mohou i pevnolátkové pracovat v kontinuálním (angl. CW - Continuous Wave) i pulzním režimu.



**Obrázek 2.11: Nd:YAG laser Roфин [14]**

Výkon těchto laserů se v kontinuálním režimu pohybuje asi do 6 kW, v případě pulzních jde cca o 10 GW (za užití kaskádových zesilovačů i vyšších). Účinnost Nd:YAG laserů závisí na typu zdroje energie. Od 1 % u výbojek až po 25 % u laserových diod [13].

Výhodou tohoto typu laseru oproti plynovému je možnost vedení záření optickým vláknem. Pro gravírování se využívají především Nd:YAG s výkonem do 200 W, přičemž se používají především na materiály, jako jsou kovy, plasty a keramické materiály. Mezi výrobce Nd:YAG laserů se řadí Trumpf, Roфин – Sinar, Trotec, Gravograph, DMG nebo Lang.

### **2.3.4 Výkonové diodové lasery**

Tento druh laseru patří mezi tzv. polovodičové lasery, kde je aktivní prostředí tvořeno polovodičovým materiálem. V tomto prostředí jsou aktivními částicemi nerovnovážné elektrony a díry (tzv. volné nosiče náboje), které mohou být injektovány [15].

Výkonové diodové polovodičové lasery, které vytvářejí záření o vlnové délce 790 – 980 nm jsou pro průmyslové technologie vhodné při dostatečném výkonu (v sestavě se dosahuje až kolem 8 kW) a oproti jiným typům dosavadních technologických laserů nabízejí především menší rozměry [9] (viz Obrázek 2.12).



**Obrázek 2.12: Diodový laser Rofin [9]**

Oproti plynovému CO<sub>2</sub> laseru paprsek z diodového laseru neproniká do malé hloubky v opracovávaném materiálu a gravíruje jej pouze povrchově, ale může proniknout mnohem hlouběji a jeho paprsky jsou schopné zastavit pouze materiály s větší hustotou, jako jsou například kovy. Materiály s menší hustotou bez problémů proniká. Proto musí být gravírování laserovým paprskem z tohoto zdroje prováděno v ochranné komoře, aby nemohlo být obsluha zařízení ohrožena odrazem laserového paprsku [16].

**Výhody výkonových diodových laserů [9]:**

- vysoká účinnost (až 50 %) a životnost
- nízké investiční a provozní náklady
- poměrně jednoduché přeladění vlnové délky záření – pomocí změny zastoupení prvku v polovodiči
- kompaktnost a nízká hmotnost

Zvláštností u výkonných diodových laserů je to, že laserový paprsek mívá tvar obdélníkové plochy. Laser o výstupním výkonu 150 W (určený např. pro gravírování) má po zaostření rozměr stopy 0,6 x 1,2 mm. Lze jej však zaostřit i na 1,3 x 1,3 mm nebo na stopu ve tvaru kruhu o průměru 1,5 mm.

Výkonový diodový laser se používá především pro gravírování kovů a potažených kovů. Při nízkých výkonech (např. 10 W) i pro plasty. Mezi výrobce těchto laserů patří Rofin a třeba český Lintech.

## 3 PŮVODNÍ PLOTTER A KROKOVÉ MOTORY

Cílem této kapitoly je přesnější popis hotového plotteru, který se původně nacházel na ÚAMT v laboratoři Počítačového vidění. Kapitola je rozdělena do tří částí, z nichž první se zabývá popisem plotteru, druhá teorií o krokových motorech a třetí krokovými motory použitými pro pohyb plotteru.

### 3.1 Dvouosý plotter

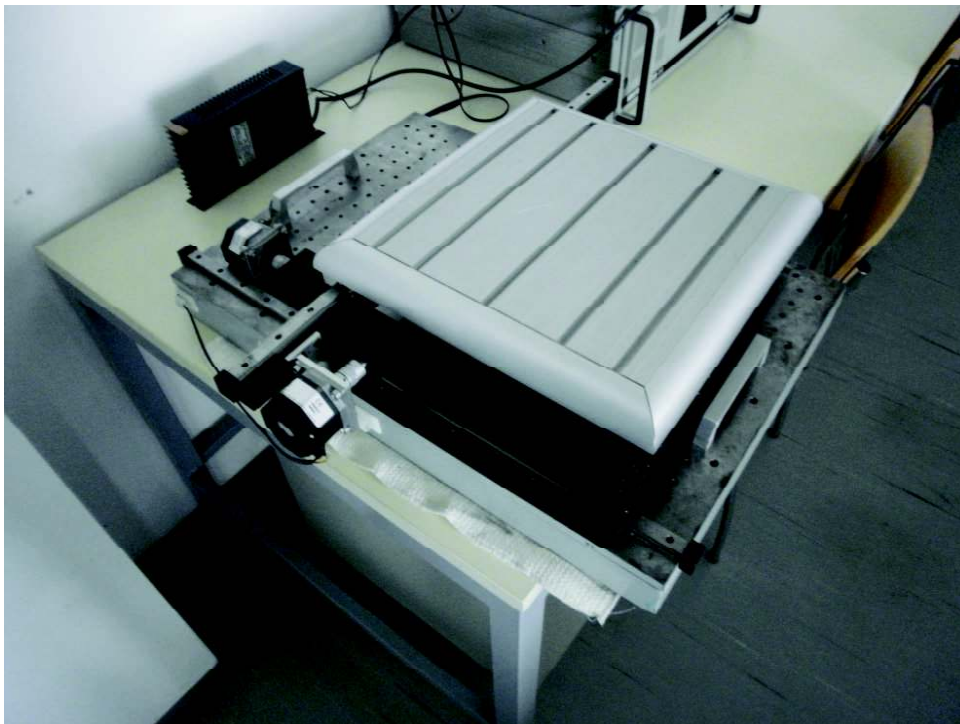
Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly, základní mechanická část celého gravírovacího přístroje již byla vytvořena a původně sloužila jako frézka desek plošných spojů. Skládá se z ocelového nosného podstavce s velkým množstvím vyvrtaných otvorů, které slouží pro uchycení dvou rovnoběžných vodicích lišt, po kterých jezdí plotterový modul (viz Obrázek 3.1). Tím je zajištěn pohyb modulu v ose y.

Plotterový modul je vytvořen ze čtvercových ocelových profilů a nese na sobě opět dvě rovnoběžné vodicí lišty, které zajišťují pohyb plotterové desky v ose x, která je kolmá na osu y. Tato deska má ve svém povrchu řadu vodicích drážek, které budou sloužit k upnutí gravírovaného materiálu.

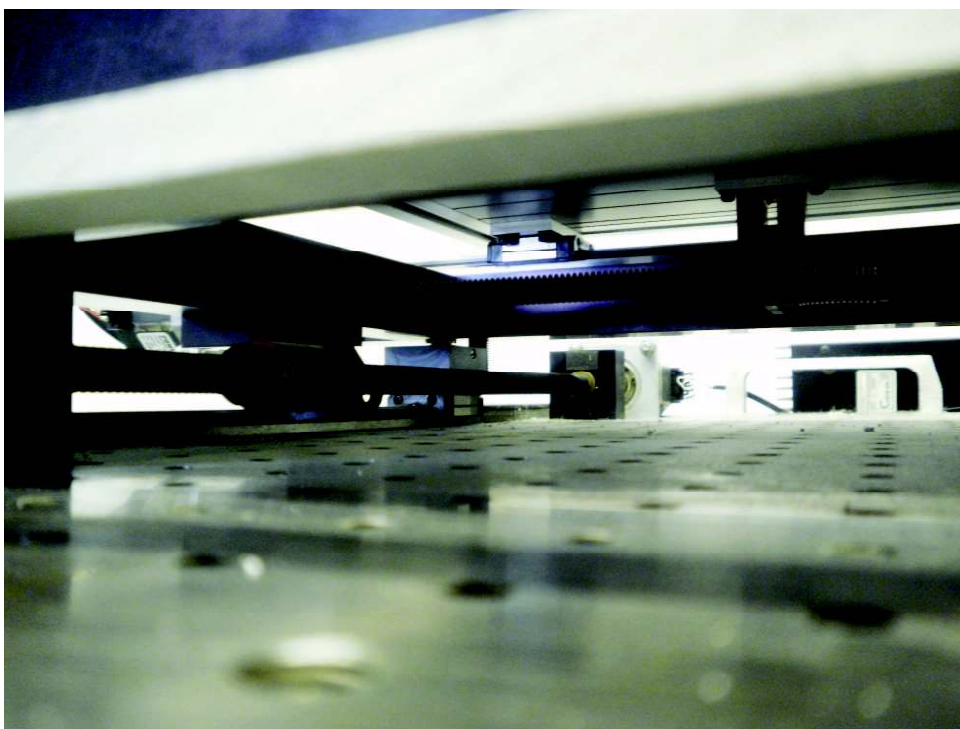
Posuvy plotteru po obou osách jsou zajištěny pomocí dvojice rotačních krokových motorů, jejichž hřídele jsou přes pružný duralový element spojeny s tzv. kuličkovými šrouby (viz Obrázek 3.2). Posuvné části kuličkových šroubů (matice) jsou pevně uchyceny k plotterovému modulu nebo plotterové desce a při otáčení šroubu je tak posouvají po vodicích lištách.

Principem kuličkového šroubu je odvalování kuliček vložených do závitu mezi maticí a šroub. Pro vyšší únosnost je používán tzv. gotický profil závitu, který zajišťuje optimální stykový úhel mezi kuličkou a boky závitu. Výhodou tohoto typu posuvu je především vysoká účinnost, malé opotřebení a vymezení vůlí. Díky tomu je dosaženo vyšší přesnosti posuvu oběma směry, což je u plotterovacího zařízení důležitým aspektem.





**Obrázek 3.1: Dvouosý plotter se dvěma krokovými motorky**



**Obrázek 3.2: Detail posuvu plotteru**

## 3.2 Rotační krokový motor - teorie

### 3.2.1 Popis a vlastnosti

Jedná se o bezkartáčový typ synchronního elektrického motoru, který má každou svou otáčku hřídele rozdělenou do předem definovaného počtu kroků, které jsou od sebe vzdáleny vždy o stejný úhel. Vstupním signálem jsou elektrické pulsy (digitální signál) přiváděné na cívky statoru krokového motoru ve správných sekvencích. Změnou této sekvence bývá dosaženo rotace hřídele na opačnou stranu. Rychlost otáčení hřídele je pak přímo úměrná frekvenci, s jakou posíláme zvolenou sekvenci elektrických pulsů na vstup.

Nyní uveďme několik výhod a nevýhod rotačních krokových motorů [18,19]:

#### Výhody:

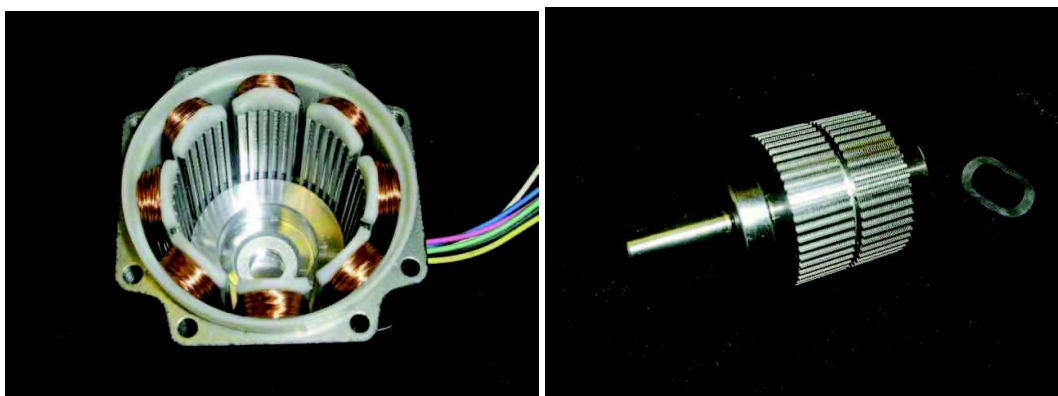
- úhel natočení hřídele krokového motoru závisí na vstupních pulzech
- v klidové poloze mají maximální krouticí moment (pokud je na cívky statoru přiveden proud)
- pracují bez nákladných snímačů otáček
- jsou jednodušší a tím i provozně spolehlivější a levnější
- řízení se obvykle provádí bez zpětné vazby
- umožňují přesně polohovat a pohyb opakovat
- protože jsou bezkartáčové, životnost motoru je dána životností ložisek
- velmi dobrá odezva na roztočení, brzdění a změnu otáčení
- možnost dosáhnout velmi nízkých rychlostí otáčení i v případě, že je hřídel zatížena

#### Nevýhody:

- vlivem přechodových magnetických vlivů je omezena rychlost otáčení na několik stovek kroků za sekundu
- při překročení max. rychlosti otáčení nebo zátěže může dojít ke ztrátě kroků
- při špatném řízení motoru může docházet k rezonancím
- horší řiditelnost při vysokých rychlostech
- malá hodnota měrného výkonu - krokový motor má při srovnatelném výkonu podstatně větší rozměry a hmotnost

### 3.2.2 Složení rotačního krokového motoru

Základními prvky každého rotačního krokového motoru jsou podobně jako u jiných elektromotorů stator a rotor. Stator krokového motoru je tvořen sadou cívek. Pólové nástavce statoru jsou vroubkovány se stejnou roztečí, jako je rozteč magnetů na rotoru (viz Obrázek 3.3). To je jedna z částí zvyšující přesnost motoru při stejném počtu cívek. Rotor je tvořen hřídelí usazenou na kuličkových ložiscích a prstencem permanentních magnetů nebo svazkem nalisovaných plechů [19].



Obrázek 3.3: Součásti krokového motoru – stator a rotor [20]

### 3.2.3 Typy krokových motorů

V dnešní době nejvíce používané krokové motory se vzhledem k typu rotoru dělí na dva základní typy:

- s pasivním rotorem
- s aktivním rotorem

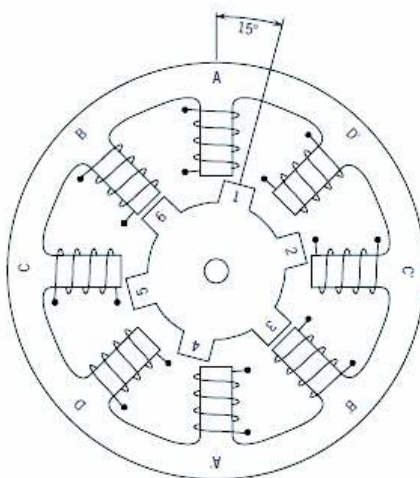
#### 1. S pasivním rotorem

Jedná se o jeden z nejstarších a dosud stále používaných typů krokového motoru, jehož rotor se skládá ze svazku ozubených ocelových plechů (jako stator) nebo jednoho kusu ocele. Bývají nazývány jako krokové motory reakční, reluktanční nebo s proměnnou reluktancí (v anglické literatuře VR - variable-reluctance).

Konstrukce reluktančních krokových motorů je založena na rozdílném počtu elektromagneticky buzených vyniklých pólů statoru a pasivních zubů rotoru. Principem je, že protilehlé páry statorových vinutí jsou zapojeny v sérii a při napájení tvoří severní a jižní pól (viz Obrázek 3.4). Přivedeme-li na vinutí cívek statoru stejnosměrný proud, póly se zmagnetizují. Rotace nastává, když jsou zuby rotoru přitahovány ke zmagnetizovaným pólům statoru [22].

Při zanedbání reluktance železa vůči vzduchu, rozptylu a zakřivení magnetických indukčních čar ve vzduchové mezeře je reluktance obvodu fáze statoru lineární funkcí překrytí zubů statoru a rotoru. Indukčnost cívky fáze je tedy největší, právě když jsou osy zubů rotoru a statoru proti sobě. Minimální je pak v poloze posunuté o polovinu rozteče [21].

Základní krok obvykle závisí na počtu zubů rotoru. Mezi zuby statoru a rotoru bývá vzduchová mezera obvykle 0,02 až 0,2 mm. V dnešní době se již od používání tohoto typu krokových motorů ustupuje a to z důvodu čím dál nižší cenové úrovně hybridních krokových motorů (popsány jsou ve stejné kapitole níže).



**Obrázek 3.4: Konstrukce krok. motoru s pasivním rotorem [18]**

## **2. S aktivním rotorem**

S aktivním rotorem jsou nazývány proto, že rotor se buď přímo skládá z permanentního magnetu, nebo je tento magnet jeho součástí. Dělí se na dvě podskupiny – s radiálně a axiálně polarizovanými magnety rotoru.

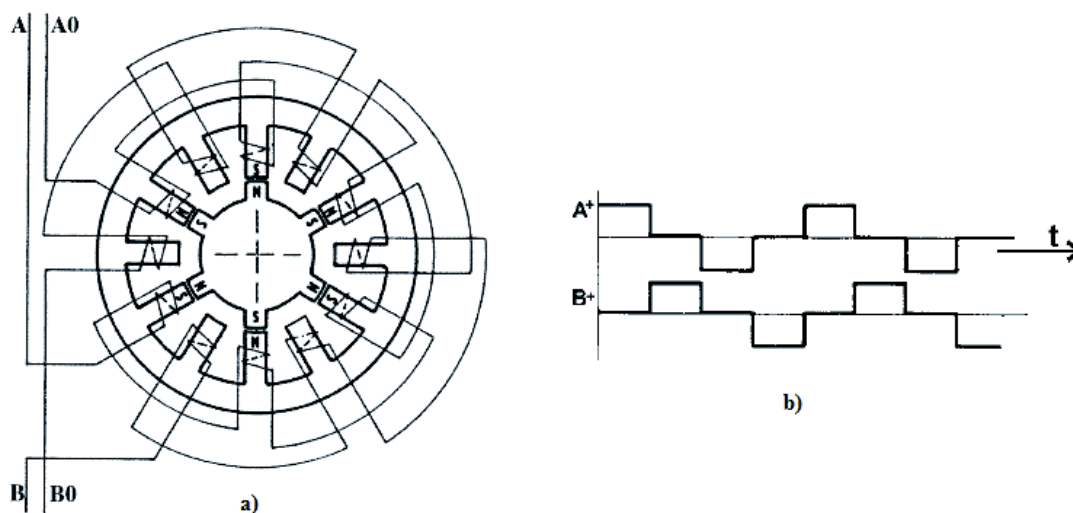
### **a) s radiálně polarizovaným magnetem**

V anglické literatuře týkající se krokových motorů bývá znám pod zkratkou PM (Permanent magnet). Jeho rotor se skládá z, po obvodu se střídajících, severních a jižních pólů permanentního magnetu (např. z materiálu AlNiCo), jejichž počet je oproti pólům statoru poloviční (viz Obrázek 3.5a).

Stator je navinut dvoufázově (počet pólů musí být dělitelný čtyřmi) a při spínání fází je nutno měnit směr proudu ve vinutích. V případě spínání fází signály, které zobrazuje Obrázek 3.5b, dojde k pootočení hřídele o jednotlivé kroky [23].

Patří mezi dražší typy krokových motorů (z důvodu složitějšího budicího obvodu) a obvyklý krok jejich hřídelí se pohybuje okolo 7,5° nebo 15°. Tyto nevýhody ale bývají

vykompenzovány menší časovou konstantou (v mag. obvodu mají perm. magnet) a tím vyšším pracovním kmitočtem (až desítky kHz).



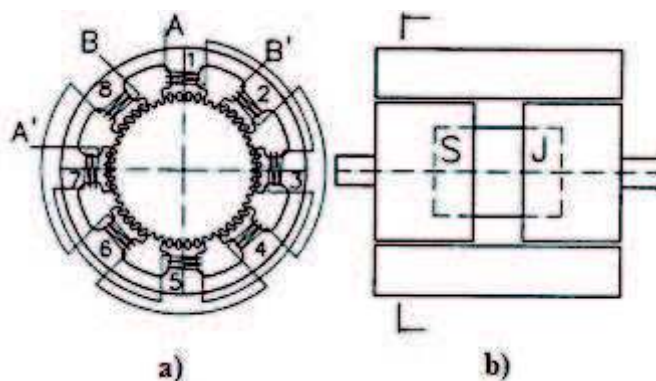
**Obrázek 3.5: Krokový motor s rad. polariz. magnetem a jeho budicí signály [23]**

#### **b) s axiálně polarizovaným magnetem**

Je v dnešní době asi nejpoužívanějším typem krokových motorů a je znám především pod názvem hybridní (v angl. lit. zkratka HB). Nazývá se takto kvůli tomu, že kombinuje nejlepší vlastnosti krokových motorů s pasivním rotorem a aktivním rotorem s radiálně polarizovaným magnetem [18].

I v tomto krokovém motoru je použit permanentní magnet, ale jiným způsobem, než u předchozího typu. Nachází se na hřídeli z nemagnetické oceli, ale je umístěn v axiálním směru. Spolu se dvěma pólovými nástavci z plechů nalisovanými na hřídel, z nichž má každý jinou polaritu, tvoří rotor (viz Obrázek 3.6b).

Stator tvoří hlavní pólové nástavce (Obrázek 3.6a jich uvádí osm a každý z nich má pět zubů), na kterých jsou navinuty cívky. Šířka zubů statoru je stejná jako u pólových nástavců rotoru. Aby mohl hybridní motor pracovat, je nutné, aby osa zubů jednoho rotorového pólového nástavce byla v ose drážek druhého nástavce a naopak.



**Obrázek 3.6: Hybridní krokový motor [22]**

V případě, že vinutími statoru hybridního krokového motoru neprotéká žádný proud, je rotor aretován v klidové poloze vlivem mag. pole vytvořeného mag. tokem permanentního magnetu. Cívky č. 1,3,5,7 tvoří fázi A a cívky č. 2,4,6,8 fázi B.

Pokud bude fází A procházet kladný proud, budou statorové póly 1 a 5 magnetizovány jižně a 3 a 5 severně. Tím dojde k přitažení zubů severního rotorového nástavce k pólům 1 a 5, póly 3 a 7 přitáhnou zuby jižního rotorového nástavce. Aby došlo k pootočení rotoru o jeden krok, musí se fáze A odpojit od napájení a fáze B napájet proudem kladné nebo záporné polarity (v závislosti na tom, kterým směrem chceme hřídel otáčet). Poté se fáze B odpojí a fáze A bude napájena proudem s opačnou polaritou než předtím. Stejný postup opakujeme i s fází B a celý cyklus začne nanovo. Tento způsob řízení se nazývá dvoufázový s bipolárním buzením a patří mezi nejrozšířenější [22]. Pokud bychom v nějaké aplikaci potřebovali větší počet kroků na otáčku, než má standardní dvoufázový typ, můžeme použít některý z vícefázových. Ten má ovšem složitější konstrukci a budicí obvody a je tedy dražší.

Mezi velké výhody hybridních krokových motorů patří především malý krok (až  $0,36^\circ$ ) a větší krouticí i přídržný moment než u obou výše uvedených typů (při předpokladu stejné hmotnosti všech krokových motorů) [21].

### 3.3 POWERMAX II

Tento typ hybridního krokového motoru, jehož výrobcem je společnost Pacific Scientific z USA, je použit na posuv plotterové desky ve dvou osách. Oba použité motory mají stejné parametry a schéma zapojení.

### 3.3.1 Parametry motoru

Přesné označení motorů zní POWERMAX II P21NRXC-LNN-NS-00 a jeho parametry jsou pro bipolární sériové zapojení následující:

- Kroků na otáčku: 200 ( $1,8^\circ$  na krok s přesností  $\pm 3\%$  - bez zátěže)
- Počet fází: 2
- Krouticí moment: 0,82 Nm
- Max. proud fází: 1,75 A
- Max. napájecí napětí: 65 V
- Max. otáčky: 1500 ot. /min
- Odpor a indukčnost cívek: 2,12  $\Omega$  a 9,2 mH
- Počet vodičů: 8
- Typ příruby: NEMA 23 (čtverec s roztečí děr 47 mm)
- Váha: 0,68 kg

### 3.3.2 Typy zapojení

POWERMAX II má vyvedeno celkem osm vodičů, což znamená, že má každou ze svých dvou fází rozdělenou na polovinu, což mu umožňuje tři typy řízení – bipolární sériové, bipolární paralelní a unipolární. Každé má své výhody a nevýhody, v závislosti na tom, pro jakou aplikaci je daný motor určen [22]:

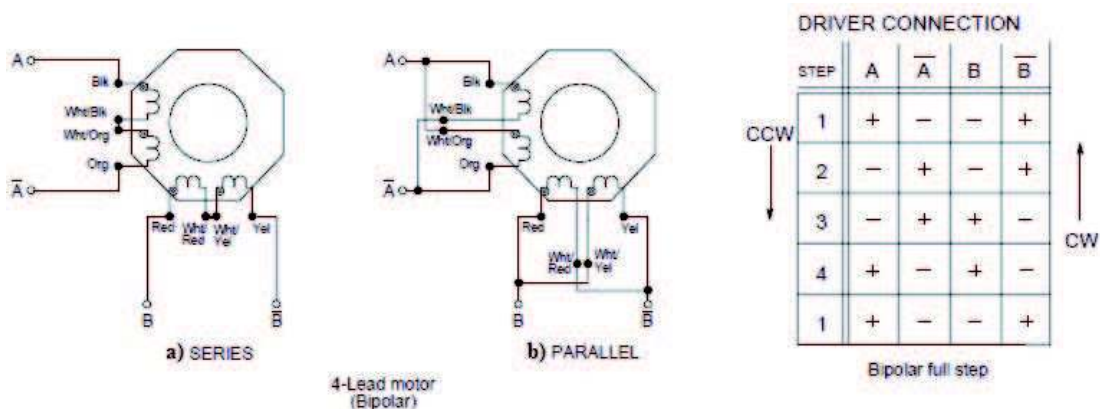
#### 1. bipolární sériové zapojení

V tomto zapojení (viz Obrázek 3.7a) je výsledný odpor vinutí a indukčnost čtyřnásobná oproti paralelnímu zapojení. Tím je dosaženo vyššího točivého momentu v oblastech nižších krokovacích frekvencí. Proto je toto zapojení krokového motoru použito i na plotterovacím zařízení.

#### 2. bipolární paralelní zapojení

Je vhodné použít tam, kde je pracováno s vyššími pracovními frekvencemi, protože časová konstanta vinutí je pro obě varianty zapojení vinutí stejná. Schéma zapojení představuje Obrázek 3.7b.

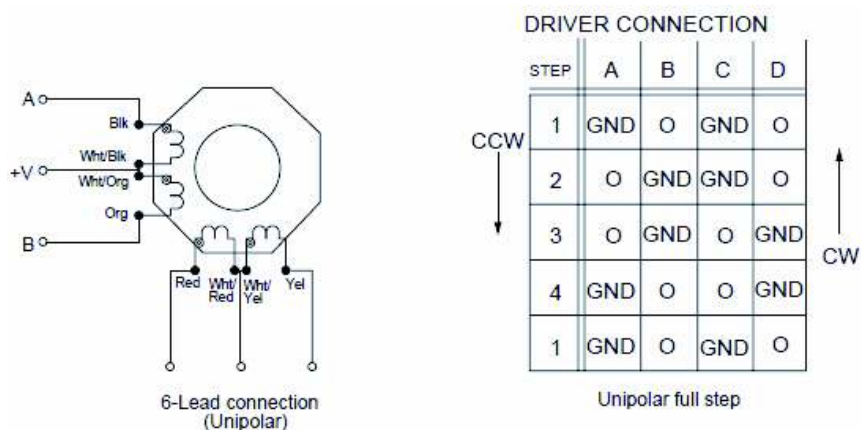




Obrázek 3.7: Bipolární zapojení a tabulka řízení fází [24]

### 3. unipolární zapojení

Díky tomuto zapojení vykazuje krokový motor v nižších krokovacích frekvencích nižší krouticí moment než u bipolárního zapojení, ale ve vyšších frekvencích je tomu přesně naopak. Unipolárního zapojení (viz Obrázek 3.8) je i vzhledem ke způsobu buzení fází jednodušší a tedy i levnější než bipolární.



Obrázek 3.8: Unipolární zapojení a jeho tabulka řízení fází [24] (o = off or open, CW/CW = otáčení po/proti směru hod. ručiček)



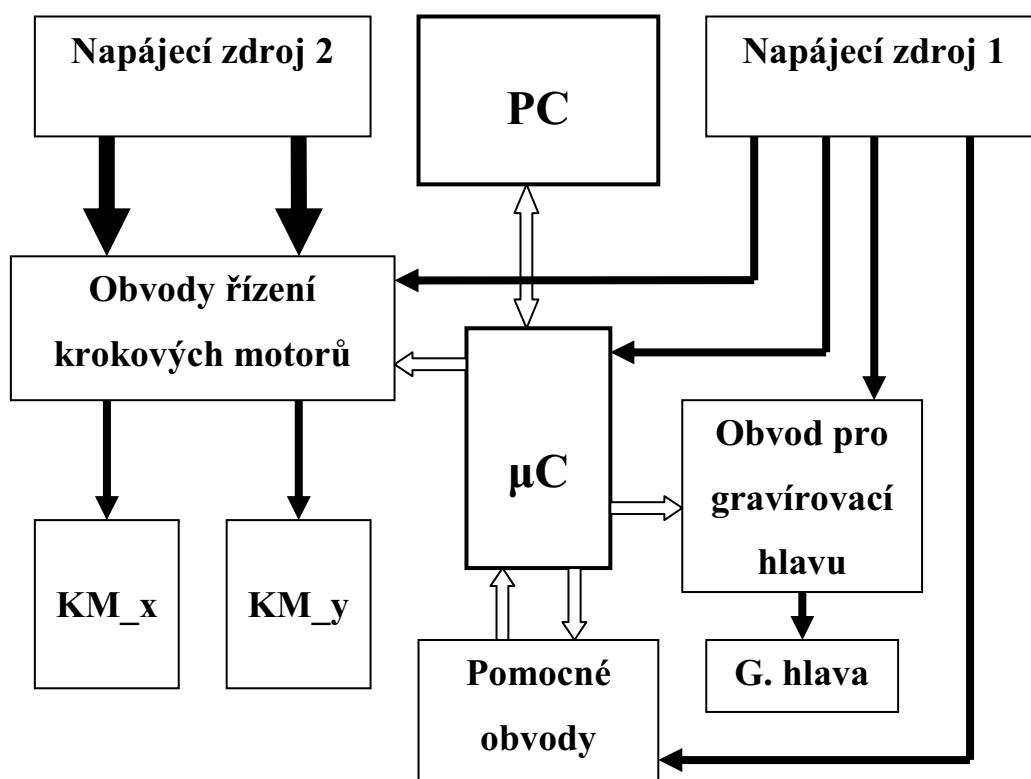
## 4 NÁVRH GRAVÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Čtvrtá kapitola této diplomové práce obsahuje část zabývající se popisem navrženého a následně realizovaného gravírovacího zařízení nazvaného GRAVIR 2011. Jsou zde uvedeny informace o fyzické realizaci výsledného zařízení a také na jakých principech je jeho funkce založena.

### 4.1 Funkční schéma

Na začátku diplomové práce bylo stanoveno několik zásadních prvků, kterými by gravírovací zařízení, vycházející z původního plotteru, mělo disponovat. Jednalo se o systém řízení pomocí mikrokontroleru ( $\mu\text{C}$ ), ovládání přes osobní počítač (PC), obvody řízení krokových motorů a gravírovací hlavy (laserové nebo pomocí fixu).

Blokové schéma (viz Obrázek 4.1) znázorňuje vzájemné propojení všech těchto důležitých prvků (černé šipky udávají napájení, bílé pak řídicí a informační signály).



Obrázek 4.1: Blokové schéma gravírovacího zařízení

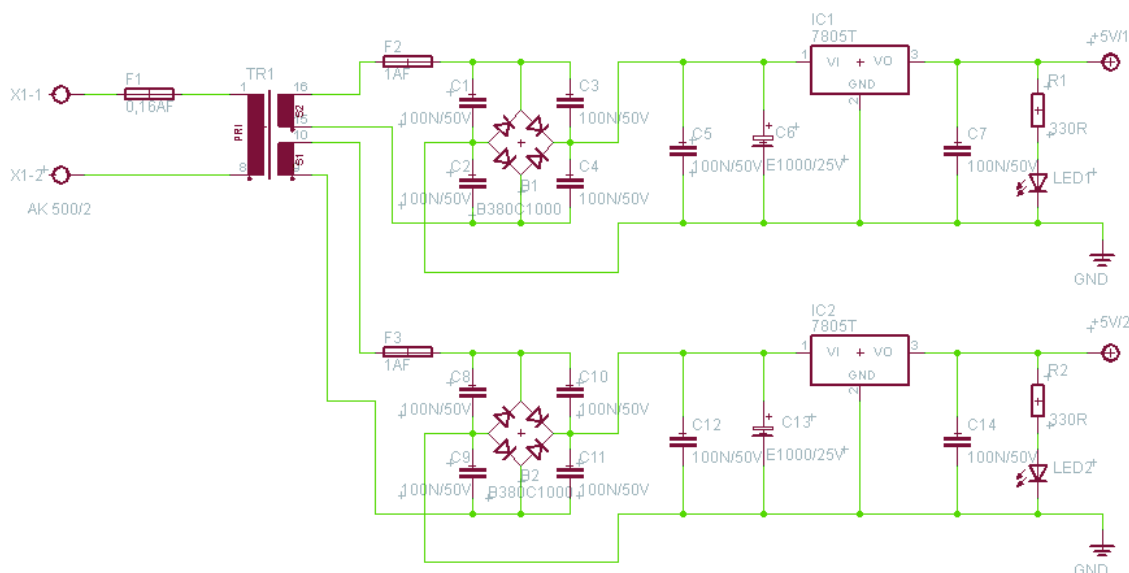
## 4.2 Napájecí zdroje

To, jakým způsobem jsou obvody gravírovacího zařízení napájeny, je dáno potřebou oddělit zdroje energie pro ovládání krokových motorů od zdrojů pro mikrokontroler a gravírovací hlavu. Při zatížení krokových motorů může dojít k poklesu napájecího napětí zdroje, které by mohlo vést (v případě společného napájení KM a  $\mu\text{C}$ ) k resetování mikrokontroleru a tedy k chybové situaci.

### 4.2.1 Pro mikrokontroler a gravírovací hlavu

Volba hodnoty napětí zdroje určeného k napájení řídicího systému a samotné hlavy určené ke gravírování nebyla složitá. Mikrokontroler AT89C51ED2 je schopen pracovat při napětí v rozsahu 2,7 – 5,5 V a stejnosměrný motor, tvořící pohyb modulu gravírovací hlavy v ose z, s napětím 1 – 6 V. Proto byla určena jedna hodnota a to 5 V.

V první fázi práce na gravírovacím zařízení bylo počítáno s tím, že bude jedna společná větev pro napájení mikrokontroleru a hlavy. Postupem času se ale ukázalo, že vysoké otáčky stejnosměrného motoru mají velký vliv na rušení napájecího napětí, které mikrokontroler špatně snášel. Docházelo k občasným a především naprosto náhodným selháním řízení mikrokontrolerem. Z tohoto důvodu byly vytvořeny dvě identické oddělené napájecí větve, každá pro jedno zařízení (viz Obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Napájení mikrokontroleru a gravírovací hlavy

Transformátor TR1 (napájený síťovým napětím 230 V/ 50 Hz) byl při návrhu napájecího zdroje zvolen typu EI 66/23, 2x15 V. Napětí sekundárního vinutí je, po

odečtení ztrát na diodách usměrňovacího můstku, dostatečné pro napájení regulátoru napětí 7805. Tento regulátor, jehož vstupní napětí může být až 35V, byl použit především pro svou jednoduchost. I přesto je schopen dodávat proud až 1A a má v sobě integrovanou ochranu proti přehřátí. Navíc spolu s chladičem při umístění na desku plošného spoje nezabírá mnoho místa.

Jak již bylo uvedeno výše, mikrokontroler je velmi citlivý na rušení vyskytující se v napájecím napětí. Z toho důvodu je před i za regulátorem napětí umístěn keramický kondenzátor 100 nF, který tyto rušivé složky odstraní.

## 4.2.2 Pro obvody řízení krokových motorů

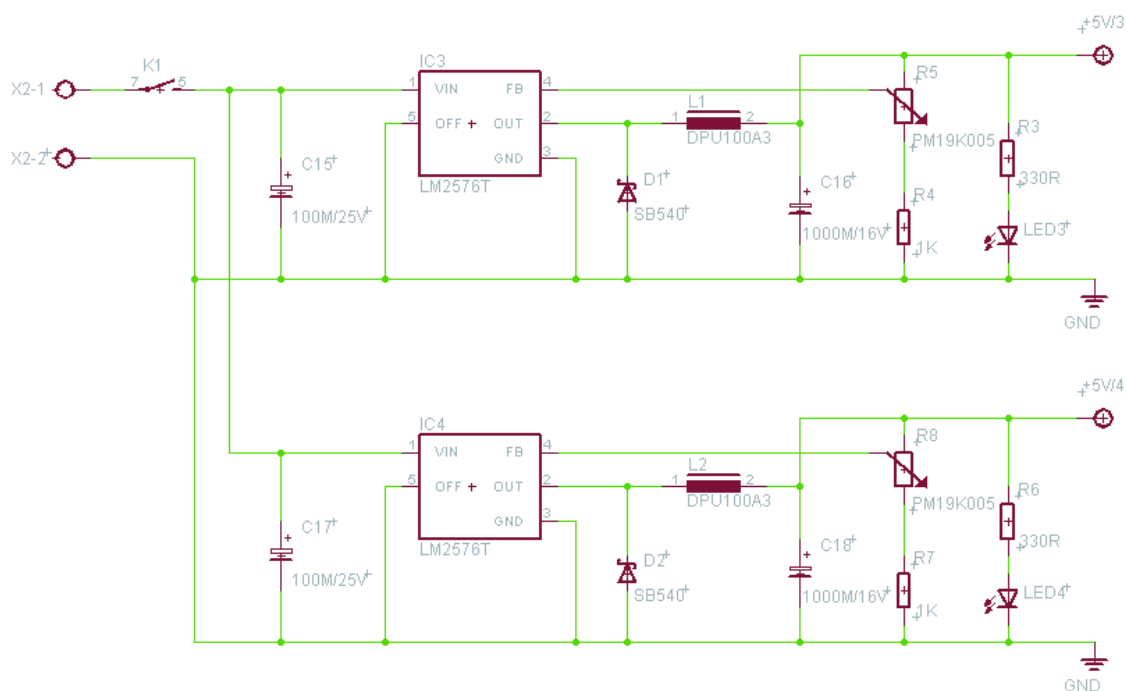
Návrh zdroje pro napájení obvodů řídících krokové motory byl komplikovanější, než u zdroje pro mikrokontroler. Důvodem byly elektrické parametry krokových motorů. Především se jednalo o odpor jednotlivých vinutí, jejichž hodnota byla pouze 1,8  $\Omega$  (výrobce udává 2,12  $\Omega$ ). I při sériovém zapojení těchto vinutí (viz Obrázek 3.7a) tak vycházel odpor jedné fáze pouze 3,6  $\Omega$ .

Krokový motor POWERMAX II, typ P21NRXC-LNN-NS-00 je možno napájet napětím o hodnotě až 65 V, ale maximální proud fáze je udáván 1,75 A. Při větším proudu hrozí přehřátí vinutí a jeho následného protavení, což vede k nevratnému poškození motoru. Aby nebylo nutné použít napájecích obvodů s proudovým omezením, stanovila se hodnota napájecího napětí na 5 V. Tímto způsobem byl maximální proud procházející fází krokového motoru omezen na hodnotu 1,39 A.

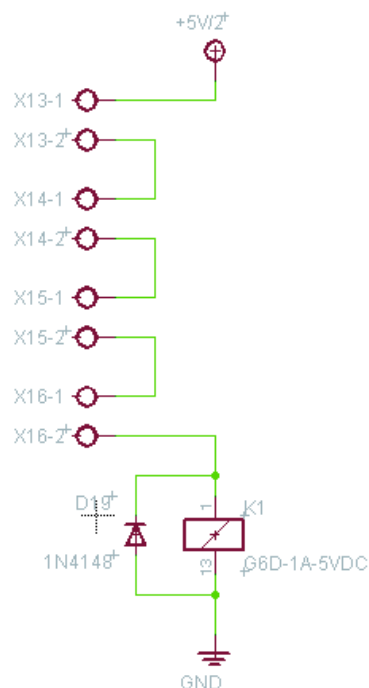
### Zapojení obvodů pro napájení krokových motorů

Výsledné schéma napájecích obvodů pro krokové motory znázorňuje Obrázek 4.3. Opět se zde vyskytují dvě naprosto shodné napájecí větve, z nichž každá je určena pro krokový motor pohybuující plotterem v jedné ose. Je tomu z důvodu možného odběru velkých proudů při relativně malém napětí. V případě, že jsou obě fáze krokového motoru napájeny současně, je z dané napájecí větve potřeba odebírat až 2,78 A.

Zdrojem energie pro napájení obou větví je v tomto případě stabilizovaný zdroj S PoweR product 13,8 V/ 5 A, který původně sloužil pro napájení řídících desek krokových motorů plotteru. Relé, umístěné za vstupními svorkami, je zde jako ochrana, která v případě, že hrozí najetí plotteru na doraz, odpojí napájecí obvody motorů od zdroje. Rozpojení spínacího kontaktu relé je dosaženo za pomoci čtyř mechanických mikrospínačů (připojených na svorky viz Obrázek 4.4), které jsou umístěny na koncích obou os, po kterých se plotter pohybuje, a jsou vzájemně zapojeny do série. Napájí je zdroj pro gravírovací hlavici. Spínací cívka relé má k sobě antiparalelně připojení ochrannou diodu. Kontakty mikrospínačů jsou v klidovém režimu sepnuty (tedy NC – normally closed) a v případě zmáčknutí mikrospínače se rozepnou. Tím se přeruší napájení spínací cívky relé a jeho spínací kontakt se tedy rozepne.



**Obrázek 4.3: Napájení budičích obvodů krokových motorů**



**Obrázek 4.4: Svorky pro připojení mikrospínačů a ochranné relé**

Za ochranným relé je umístěn napájecí zdroj realizovaný spínaným regulovatelným stabilizátorem napětí LM2576T-ADJ a pomocnými součástkami (kondenzátory,

tlumivka, Schottkyho dioda a rezistor s trimrem). I tento integrovaný obvod je vybaven tepelnou ochranou a navíc i ochranou proti přetížení. Co však bylo pro aplikaci v gravírovacím zařízení GRAVIR 2011 důležité, je LM2576T-ADJ schopen dodávat proud až 3 A, což plně dostačuje pro napájení jednoho krokového motoru. Na desce plošného spoje je doplněn o dostatečně dimenzovaný chladič.

Zapojení stabilizátoru napětí vychází z doporučení výrobce. Frekvence vnitřního oscilátoru je pevně nastavena na 52 kHz, vstupní napětí může být až 40 V a výstupní v rozmezí 1,23 – 37 V. Hodnoty parametrů pomocných součástek byly zvoleny na základě výpočtů, které výrobce uvádí v datasheetu. Hodnota výstupního napětí (pro krokové motory 5 V) se upravuje trimrem.

## 4.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler tvoří jádro celého systému řízení gravírovacího zařízení. Přijímá data z osobního počítače, které uživatel zadá, na základě programu, který má v sobě nahraný, je zpracuje a pomocí svých vstupně/výstupních portů ovládá obvody řízení krokových motorů a gravírovací hlavice.

V dnešní době se lze setkat s mnoha typy mikrokontrolerů od velké řady výrobců. Liší se především svou instrukční sadou, počtem vstupně/výstupních portů, způsoby programování a typem aplikací. Mezi nejznámější, a tedy i často používané, patří např. mikrokontrolery řady AVR nebo ARM od společnosti Atmel a PIC od společnosti Microchip Technology.

### 4.3.1 Atmel AT89C51ED2

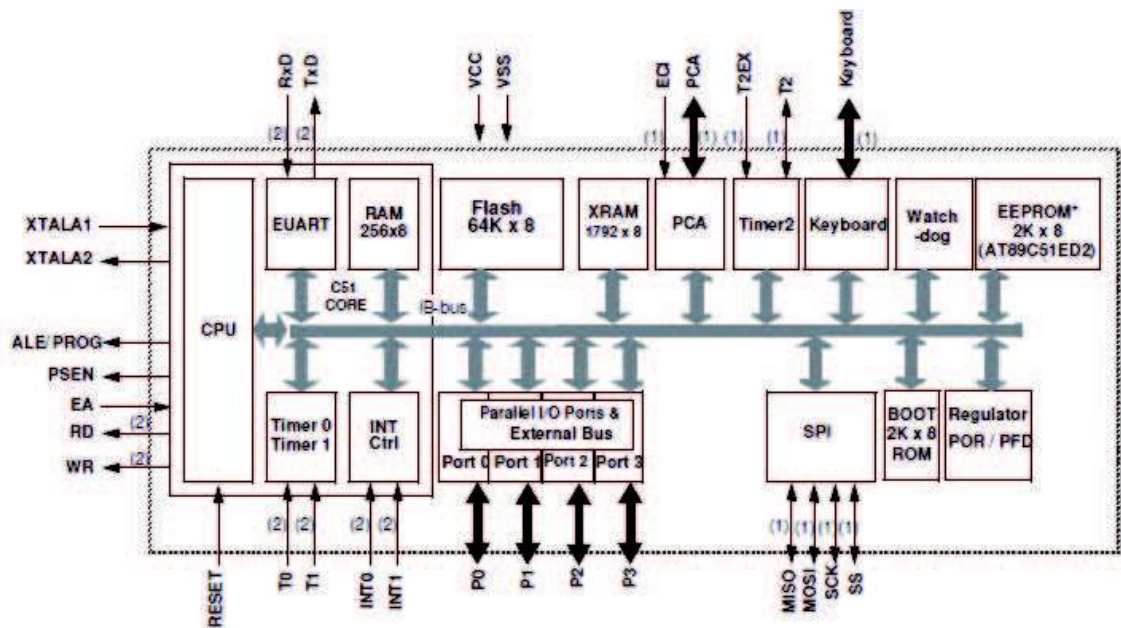
Pro použití v gravírovacím zařízení byl ovšem zvolen Atmel AT89C51ED2 v pouzdře PLCC44. Ten již v dnešní době sice nedosahuje výkonu jako typy AVR nebo PIC, ale pro určité aplikace jsou jeho vlastnosti dostačující. Jedná se například o použití jako A/D převodník, pro pulzně šířkovou modulaci, řízení průmyslových zařízení (motory) a také ve spotřebním zboží.

#### Hlavní parametry mikrokontroleru AT89C51ED2 [25]:

- 8bitový mikrokontroler s instrukční sadou 8051
- čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty (P0 – P3)
- tři 16bitové čítače/časovače (T0 – T2)
- devět typů přerušení
- způsob programování – ISP (In-System Programming) – obousměrná komunikace po sériové lince

- 2048 bytů Boot ROM
- 64 kB On-Chip Flash paměti pro program/data
- 1792 bytů On-Chip Expanded RAM (XRAM)
- 2048 bytů EEPROM pro data
- 8bitová předdělička
- full-duplex UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) – pro sériovou komunikaci (např. po lince RS232)

Vnitřní obvodové schéma tohoto mikrokontroleru je uvedeno níže (viz Obrázek 4.5).



Obrázek 4.5: Vnitřní schéma AT89C51ED2 [25]

### 4.3.2 Zapojení mikrokontroleru

Jelikož schéma zapojení mikrokontroleru a příslušných obvodů k němu připojených je poměrně velké a tak by jej nebylo možno vložit na jednu stranu (při zachování dobré čitelnosti), tato kapitola se zabývá pouze samotným mikrokontrolerem a základními obvody nutnými k jeho činnosti (viz Obrázek 4.6). V ostatních kapitolách jsou poté blíže specifikovány obvody připojené na jeho vstupně/výstupní porty (I/O porty).

Pouzdro PLCC44 obsahuje 44 pinů, z nichž každá strana má po 11 pinech. Funkčních je ale jen 40. Pin uprostřed každé strany (označen NC – Not Connected) se nevyužívá.



39

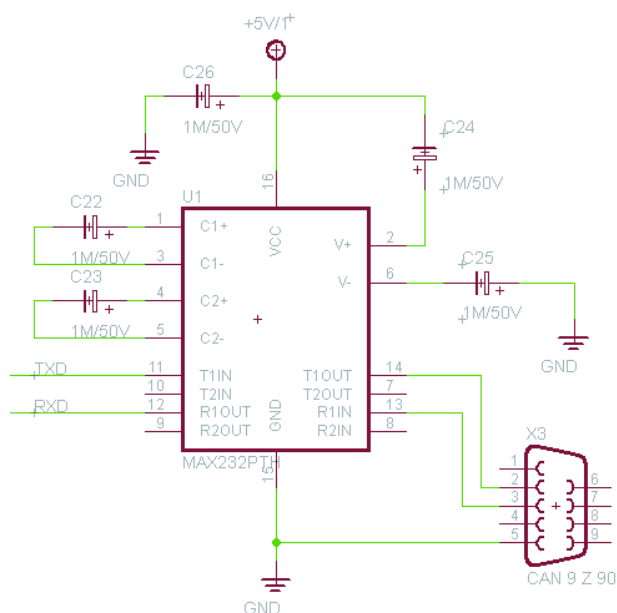
(nahrání programu z PC do paměti programu) je pin /PSEN (Program Strobe ENable) přes rezistor R12 připojen na tlačítko S2, které je spojené se zemí. Po stisknutí tlačítka S1 a následně S2 lze obvod naprogramovat. Z tohoto režimu se do normálního dostaneme opětovným resetem.

Všechny I/O porty, s výjimkou dvou pinů portu P3, jsou použity pro ovládání obvodů krokových motorů, LCD nebo vstupy pomocných obvodů. P3.0 (RXD) a P3.1 (TXD) jsou vyhrazeny pro komunikaci s PC pomocí sériové linky (viz dále). P2.2 a P2.3 jsou nastaveny jaké vstupní piny. Přes svorky X5-1 a X5-2 (OPTO IN X a Y) získávají signál od dvou optických závor, které slouží k informaci o tom, zda je plotter v inicializační poloze (bod [0,0] v ose x-y).

### 4.3.3 Komunikace s PC

Jak bylo uvedeno výše, komunikace s PC probíhá pomocí dvou pinů portu P3. Jedná se o sériovou asynchronní komunikaci po sériové lince. Přímé propojení sériového I/O portu mikrokontroleru (UART) s portem osobního počítače však není možné. Důvodem je, že UART AT89C51ED2 pracuje s úrovněmi TTL (0 – 5 V) a RS232, použité v PC, s úrovněmi -15 V až -3 V (log. 1) a 3 V až 15 V (log. 1).

Jako převodník úrovní byl použit integrovaný obvod MAX232 od společnosti Maxim (viz Obrázek 4.7). Napájení zajišťuje stejný zdroj, jako pro mikrokontroler. Zapojení a hodnoty kondenzátorů jsou dány výrobcem. Piny T1IN a R1OUT jsou připojeny k pinům RXD a TXD. T1OUT a R1IN pak na zásuvku typu CAN 9, pomocí které se možné připojit obvod k PC.



Obrázek 4.7: Převodník úrovní MAX232

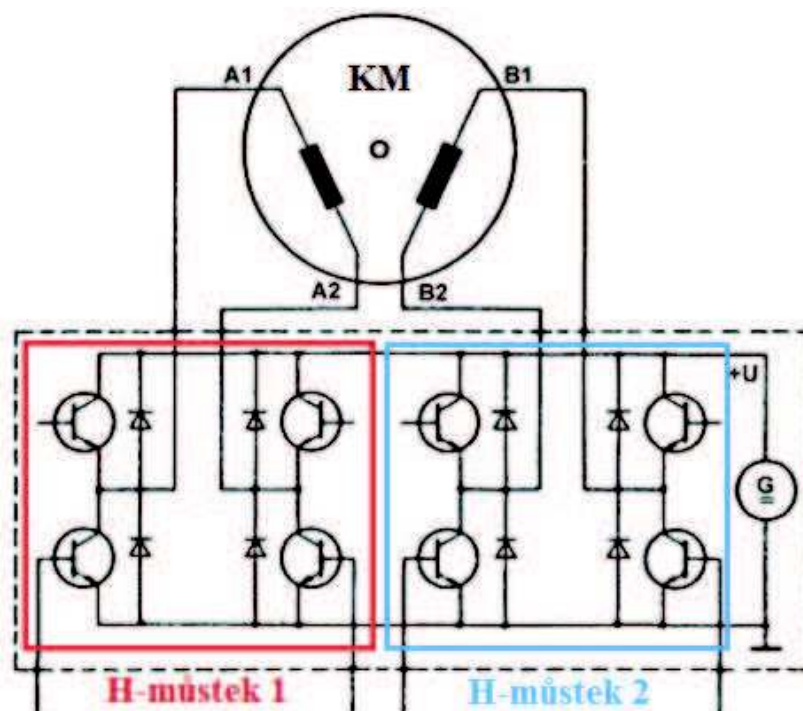


## 4.4 Obvody řízení krokových motorů

Volba, jakým způsobem bude nejvhodnější dané krokové motory řídit (popis možných typů byl uveden v kapitole 3.3.2), byla z části dána již jejich výrobcem – jedná se o motory s bipolárním sériovým zapojením. Tím je dosaženo vyššího točivého momentu v oblastech nižších krokovacích frekvencí.

Na začátku bylo nutné rozhodnout, z jakých elektrických prvků se budou budící obvody krokových motorů skládat, a vybrat z možných variant tu nejvhodnější (s ohledem na složitost zapojení a velikost, kterou by zabíraly na desce plošného spoje).

Pro řízení bipolárních, sériově zapojených krokových motorů se v praxi používají tzv. H-můstky (viz Obrázek 4.8). Jedná se o čtveřice tranzistorů (doplněné ochrannými diodami) spínaných v určitém pořadí tak, aby v danou chvíli protékal proud vinutím krokového motoru v požadovaném směru. Při realizaci budících obvodů přicházelo v úvahu vytvoření H-můstek z jednotlivých tranzistorů nebo použití integrovaného obvodu, který tyto H-můstky již obsahuje.



Obrázek 4.8: Dvojice H-můstek pro řízení KM [23]

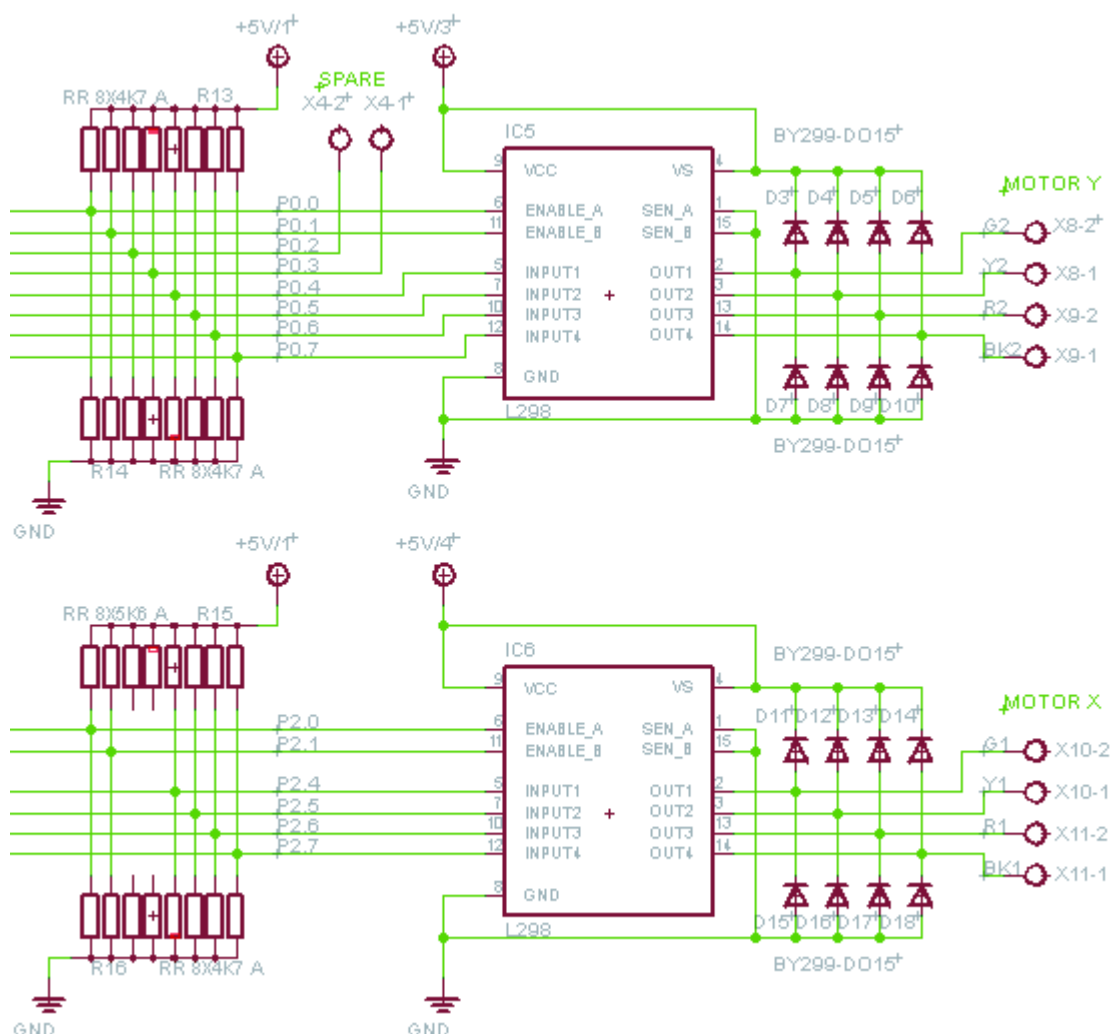
Vytvoření budících obvodů ze samostatných tranzistorů však již od začátku vykazovalo několik nedostatků. Maximální proud vinutím KM je 1,75 A, tranzistory by tedy bylo nutné použít alespoň pro hodnotu 2 A, a především je doplnit o dostatečně dimenzovaný chladič. Celkově by pro dva KM bylo zapotřebí 16 takovýchto tranzistorů s chladiči. Další problém spočívá v malém proudu, který je schopen pin výstupního

portu mikrokontroleru dodávat. Jeho hodnota se pohybuje v řádu desítek  $\mu\text{A}$ , což je pro spínání výkonových tranzistorů nedostatečné. Výstupní signál by se tak musel posílit dalším tranzistorem a až poté spínat daný tranzistor H-můstku. Celé zapojení by se tak zkomplikovalo a především by zabíralo mnoho místa na plošném spoji.

### Výsledné zapojení s obvody L298N

Pro řízení krokových motorů byla zvolena varianta s integrovanými obvody L298N s patičí Multiwatt15. Jedná se o obvod se dvěma H-můstky určený pro řízení prvků indukčního charakteru, jako jsou např. relé, stejnosměrné a krokové motory. Jeho výrobcem je společnost STMicroelectronics. Mezi jeho hlavní parametry patří výstupní napětí 4,8 – 46 V, maximální proud pro každý H-můstek 2 A (špičkově až 2,5 A), a možnost napájet logické obvody napětím 4,5 – 7 V. L298N má v sobě integrovanou tepelnou ochranu.

Schéma zapojení řídicích obvodů pro oba krokové motory znázorňuje Obrázek 4.9.



Obrázek 4.9: Výkonové budiče krokových motorů

Z tohoto schématu je patrné, že se jedná o dvě oddělené, identicky navržené, větve. Vrchní větev je určena pro KM pohyblivý plotterem v ose y a spodní pro KM pohyblivý osou x. Každý obvod L298N má svůj zdroj napájení, který je připojen na pin VCC a VS (napájecí napětí pro logické obvody i výstup je tedy shodné). Výstupy OUT1 až OUT4 slouží k napájení vinutí krokových motorů a jsou vyvedeny na čtveřici svorek. Jako ochranné diody byly použity BY299. Pomocné vývody SEN\_A a SEN\_B umožňují, po připojení rezistoru s definovaným odporem, měřit proud procházející výstupy L298N. Této funkce však nebylo potřeba využít, protože maximální proud vinutí KM je omezen napájecím napětím na 1,39 A, a tak byly tyto vývody uzemněny.

Řídicí vstupy ENABLE\_A a ENABLE\_B povolují sepnutí tranzistorů v H-můstku 1 a 2. Hodnota log. 1 (povoleno) u L298N odpovídá napětí 2,3 – 7 V, log. 0 (nepovoleno) pak -0,3 – 1,5 V. Samotné sepnutí tranzistorů H-můstku probíhá pomocí vstupů INPUT1 – INPUT4. Při řízení obvodu L298N mikrokontrolerem tak nejprve dojde k nastavení logické hodnoty vstupů INPUT v požadované kombinaci (viz Obrázek 3.7 – tabulka Driver connection, znaménko + odpovídá log. 1, - log. 0) a až poté k jejich aktivaci řídicími vstupy ENABLE.

Aby však bylo možné celý obvod řídit v souladu se specifikací výrobce, bylo nutné splnit jednu důležitou podmínku. Ta se týkala vztahu mezi hodnotou napájecího napětí VS a hodnotou napětí vstupů  $V_i$ . Z rovnice  $VS = V_{iH} + 2,5 \text{ V}$  vyplývá skutečnost, že napětí vstupů (a tedy výstupních pinů mikrokontroleru) musí být při úrovni log. 1 ( $i_H$  = input High) maximálně 2,5 V, protože hodnota VS je dána napájecím zdrojem na 5 V. Výstupní signál všech portů mikrokontroleru je však dán jeho napájecím napětím, které je 5 V. Proto bylo nutné hodnotu signálu jdoucích z portů P0 a P2 mikrokontroleru nějakým způsobem snížit.

Jako vhodný způsob se jevil použití jednoduchého napěťového děliče. Ke portu P0 a P2 byla připojena dvojice rezistorových sítí, ze kterých byla jedna napájena stejným napětím jako mikrokontroler a druhá se připojila na zem. Princip uvedeného zapojení spočívá v tom, že když je výstupní pin portu nastaven na log. 0, teče do něj proud procházející přes napěťový dělič a do vstupu L298N žádný proud neteče. Pokud však pin nastavíme do log. 1, tranzistor umístěný v jeho výstupu zůstane zavřený a nebude přes něj moci proud směrem dovnitř procházet. Proud z děliče tedy poteče do vstupu L298N. Tím také došlo k odlehčení proudové zátěže (výstupního proudu) pinů každého z portů.

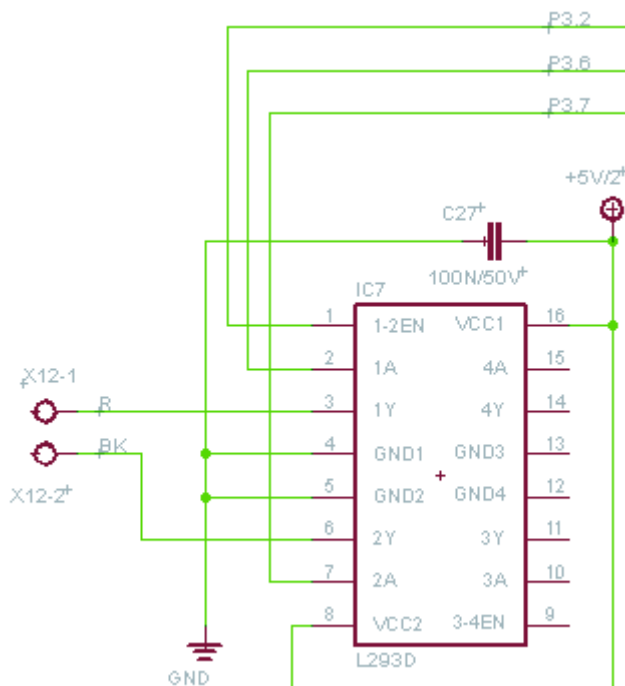
Odpory rezistorových sítí R13 – R16 byl spočítány tak, aby napětí signálu  $V_{iH}$  bylo 2,5 V a proud 1 mA. Důvodem, proč je k portu P2 připojena jedna rezistorová síť s odporem 8x5,6 kΩ a ne 8x4,7 kΩ (jak je tomu u P0) je ten, že P2 v sobě obsahuje tzv. pull-up rezistory (s odporem přibližně 25 kΩ), ke kterým je rezistorová síť R15 připojena paralelně. Port P0 tyto pull-up rezistory nemá. Protože piny P0.2 a P0.3 nejsou nikde v gravírovacím zařízení použity, byly vyvedeny na pomocné svorky pro případ jejich využití v budoucnu.

## 4.5 Obvod pro gravírovací hlavu

Základní součástí gravírovací hlavy v zařízení GRAVIR 2011 je pohyblivý modul řízený stejnosměrným motorem, který byl získán z vysloužilé CD-RW mechaniky. Tam sloužil pro posuv laserové diody (určené pro čtení a vypalování CD) po vodicích lištách. Následně z něj byla tato dioda spolu s motorem sloužícím pro roztočení CD odstraněna. Na místo laserové diody byl instalován plastový držák s dírou, do které lze uchytit zdroj laserového paprsku (o výkonu dostatečném pro gravírování) nebo fix.

Možnosti, jakými může být gravírovací hlava použita ke gravírování, jsou tedy dvě (laser nebo fix). Obvod řízený mikrokontrolerem, který bude hlavu řídit je však jen jeden. V případě gravírování laserem bude tento obvod sloužit k napájení zdroje laserového paprsku a stejnosměrný motor pro pohyb modulu bude odpojen. Naopak, pokud bude gravírování probíhat pomocí fixu, stejnosměrný motor s ním bude, v závislosti na řídicím programu, pohybovat směrem nahoru a dolů.

Obrázek 4.10 znázorňuje, jak je integrovaný obvod L293D, použitý pro řízení gravírovací hlavy, zapojen.



Obrázek 4.10: Schéma obvodu gravírovací hlavy

Stejně jako v případě obvodů pro řízení krokových motorů se jedná o obvod obsahující dva H-můstky. Jeho výrobcem je společnost Texas Instruments. Princip řízení je stejný jako u L298N. Piny VCC1 a VCC2 slouží k napájení vnitřní logiky a výstupu, vstup 1-2EN povoluje sepnutí tranzistorů a 1A, 2A spínají požadované

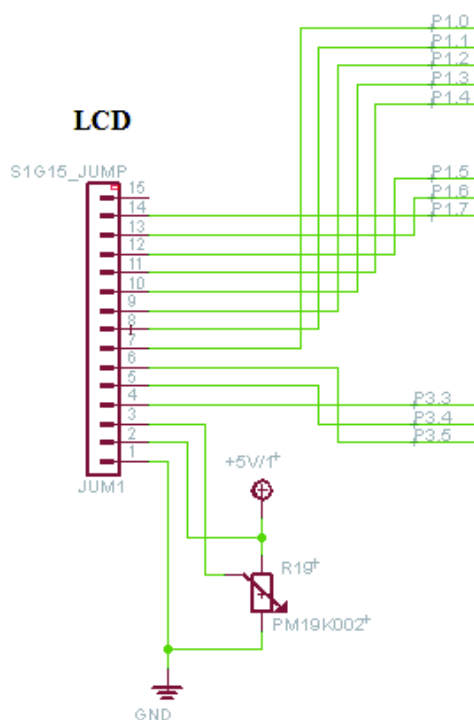
tranzistory. Tím je zajištěn požadovaný směr otáčení stejnosměrného motorku nebo zapnutí zdroje laserového paprsku. Záleží na zařízení, které je na výstupní svorky X12 připojeno. Dodávaný proud je až 0,6 A na jeden H-můstek. Výstupní napětí 5 V je dáno napájecím zdrojem (maximum integrovaného obvodu je až 39 V). Výhodou L293D je, že již má ve svém pouzdře ochranné diody. K odstranění rušení vznikajícího otáčením stejnosměrného motoru je mezi napájení a zem připojen keramický kondenzátor 100 nF.

## 4.6 Pomocné obvody

### 4.6.1 Pro připojení displaye

Jako zobrazovací jednotka, která má za úkol informovat uživatele o průběhu gravírovacího procesu, byl vybrán monochromatický maticový LCD MC1604B-SYL od společnosti Everbouquet/Wayton. Ten je schopen zobrazit 16 alfanumerických znaků ve čtyřech řádcích, což pro aplikaci v zařízení GRAVIR 2011 plně dostačuje.

Samotný display se svým řadičem není k desce plošného spoje připojen přímo, ale přes konektorovou lištu (viz Obrázek 4.11). Důvodem je jeho možné nahrazení za jiný typ (v budoucnu) nebo umístění na jiné místo, než je DPS, a následné propojení plochým kabelem. Pin 3 slouží k napájení samotného displaye, pin 2 pro regulaci kontrastu trimrem R19. Piny 4 až 14 jsou vstupy pro data jdoucí z mikrokontroleru.

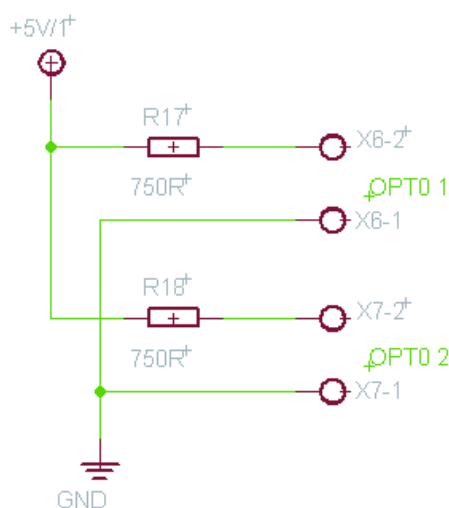


Obrázek 4.11: Připojení LCD k DPS

## 4.6.2 Pro napájení optických závor

Vidlicové optické závory, které slouží k informaci o tom, zda se plotter nachází v inicializační poloze, byly použity typu TCST2103 (výrobce Vishay Semiconductor). Emitorová část (LED) je přes rezistor R17 (resp. R18) připojena na napájení 5 V (viz Obrázek 4.12). Detektor je tvořen fototranzistorem, jehož kolektor je připojen přes jednu ze svorek OPTO IN k mikrokontroleru (viz kapitola 4.3.2). Emitor fototranzistoru a katoda LED jsou připojeny na zem přes svorku X6-1 (resp. X7-1).

Indikace, zda se plotter nachází v požadované pozici, je realizována následujícím způsobem. Piny 2.2 a 2.3 mikrokontroleru jsou nastaveny jako vstupní. Při přerušení záření jdoucího z LED do báze fototranzistoru (tedy osa plotteru se nachází v požadované pozici) se fototranzistor zavře. Proud jdoucí z pinu mikrokontroleru přes něj nebude protékat a hodnota signálu na vstupním pinu bude vyhodnocena jako log. 1. Pokud dojde k osvětlení fototranzistoru, poteče přes něj proud z pinu mikrokontroleru a hodnota signálu na tomto pinu bude log. 0.



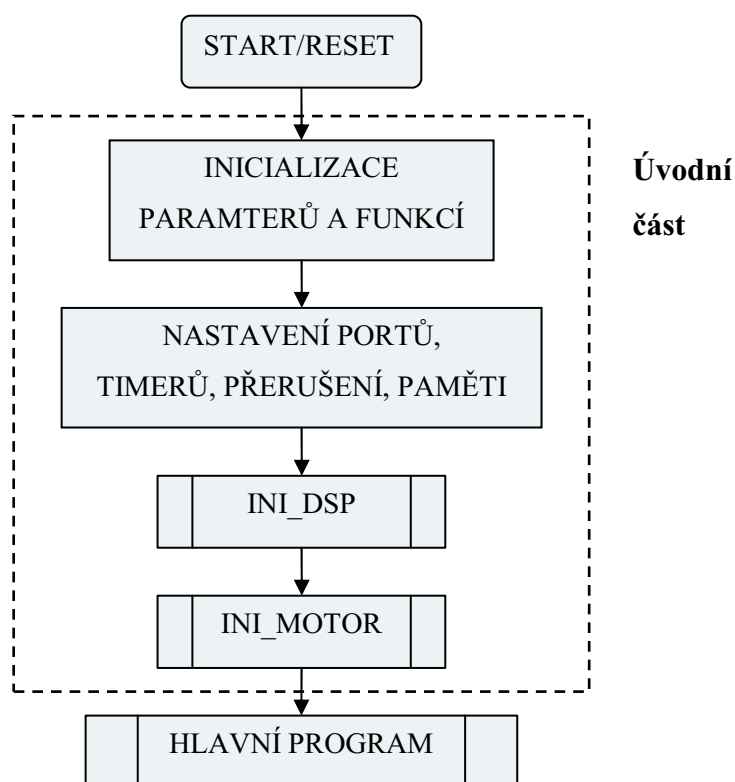
Obrázek 4.12: Napájení optických závor

## 5 ŘÍDICÍ PROGRAM MIKROKONTROLERU

Jak již bylo uvedeno výše (viz kapitola 4.3), celé zařízení GRAVIR 2011 je řízeno jednočipovým mikrokontrolerem Atmel AT89C51ED2, který potřebné informace získává z osobního počítače. Jeho programování probíhalo pomocí sériového ISP rozhraní. Zdrojový kód byl vytvořen v jazyce C, programovací prostředí bylo použito Keil uVision4. Zdrojový kód je uložen na přiloženém CD. Z důvodu lepší přehlednosti je popis částí programu rozdělen do samostatných kapitol a vyjádřen pomocí vývojových diagramů nebo částí zdrojového kódu.

### 5.1 Úvodní část programu

V této části bude popsána sekvence programu, která je vykonána vždy po zapnutí gravírovacího zařízení (přivedení napájecího napětí k mikrokontroleru) nebo resetu mikrokontroleru. Nelze tedy uživatelem ovlivnit.



Obrázek 5.1: Vývojový diagram programu mikrokontroleru

Obrázek 5.1 vyjadřuje, jakým způsobem mikrokontroler pracuje ve své úvodní části (ta spolu s částí hlavního programu tvoří obsah souboru DP\_gravírovacka.c). Nejprve jsou načteny všechny soubory s koncovkou „.h“, které obsahují potřebné nastavení parametrů (konstanty, proměnné, definování funkcí jednotlivých portů a jejich pinů) a funkcí (ovládání motorů, gravírovací hlavy, funkce pro LCD) pro obsluhu zařízení GRAVIR 2011.

Pro komunikaci s PC pomocí sériové linky slouží dvě funkce – jedna pro čtení příchozích dat a druhá pro odesílání dat. Příchozí data jsou ukládána do kruhového bufferu a určité znaky při gravírování bitmapy i do pole o nastavitelné délce. K rozeznání, zda bude gravírována vektorová nebo bitmapová grafika slouží první znak, který je přijat z PC. Sériová linka je nastavena pro 9bitovou komunikaci (registr SCON je v režimu Mode 3) s jedním stop bitem. Rychlost komunikace je dána hodnotami registrů TH1 a TL1 Timeru 1 (v Mode 2) na 9600 Bd. Timer 0 je určen k počítání časového intervalu 250  $\mu$ s (v Mode 2) – jeho registry TH0 a TL0 mají nastavenou hodnotu odpovídající tomuto času. Aby mohla být využita paměť XRAM v maximálním rozsahu 1792 bytů, bylo nutné nastavit registr AUXR na požadovanou hodnotu.

Porty P0 a P2 (sloužící k ovládání krokových motorů) jsou nastaveny jako výstupní a je do nich na úvod programu zapsána hodnota log. 0 (budiče KM jsou tedy vypnuty). Výjimku tvoří dva piny portu P2, které jsou vyčleněny pro indikaci najetí plotteru do výchozí polohy (P2.2 a P2.3), ty jsou nastaveny jako vstupní zápisem log. 1.

### 5.1.1 Inicializace displaye

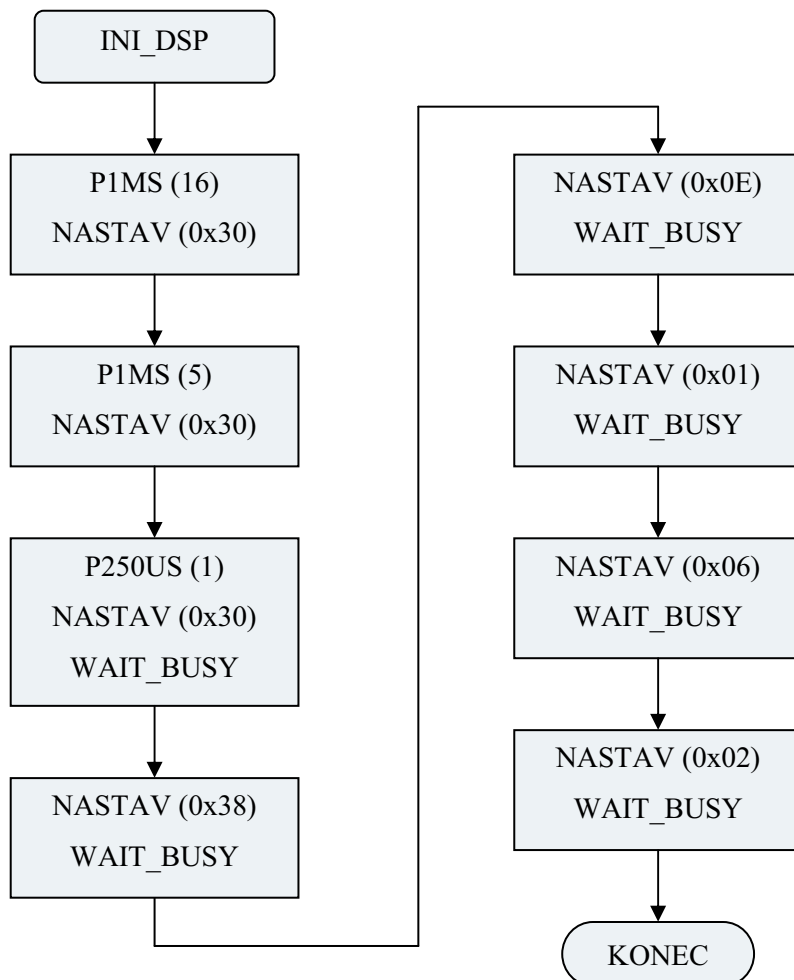
Aby bylo možné na LCD zobrazovat znaky a dále s ním pak pracovat, je nutné provést na začátku programu tzv. inicializaci. Ta je naprogramována podle doporučení výrobce LCD a skládá se s několika sekvencí (viz Obrázek 5.2).

Pro 8bitovou komunikaci s displayem je u mikrokontroleru vyčleněn (jako výstupní) port P1 a tři piny portu P3 (P3.3 – P3.5). Jelikož se jedná o LCD, které je schopné zobrazit 64 znaků, této hodnotě odpovídá velikost přiřazeného pole v paměti dat. P1 slouží k přenosu 8bitových znaků, jedná se tedy o datové signály. Zato tři piny portu P3 jsou určeny pro řízení displaye a jejich signály mají definované zkratky: P3.3 – RS (Register Select, pro výběr datového/instrukčního registru), P3.4 - RW (Read/Write) a P3.5 - E (Enable, slouží k povolení čtení/zápisu dat). Dalším potřebným signálem je tzv. Busy Flag (BF), který je čten z portu P1.7 a indikuje, zda je již display schopen další operace nebo ještě stále zpracovává minulou.

Každá sekvence v rutině pro inicializaci LCD je tvořena dvěma nebo třemi kroky – minimálním časovým intervalem, který musí nejprve uběhnout, zápisem požadované hodnoty a čekáním na změnu Busy Flag. Pro tyto kroky byly vytvořeny funkce



P250US(x) (pauza  $x \cdot 250 \mu s$ ), P1MS(y) (pauza  $y \text{ ms}$ ), NASTAV(z) (zápis hodnoty  $z$ ) a WAIT\_BUSY (čekání na změnu BF).

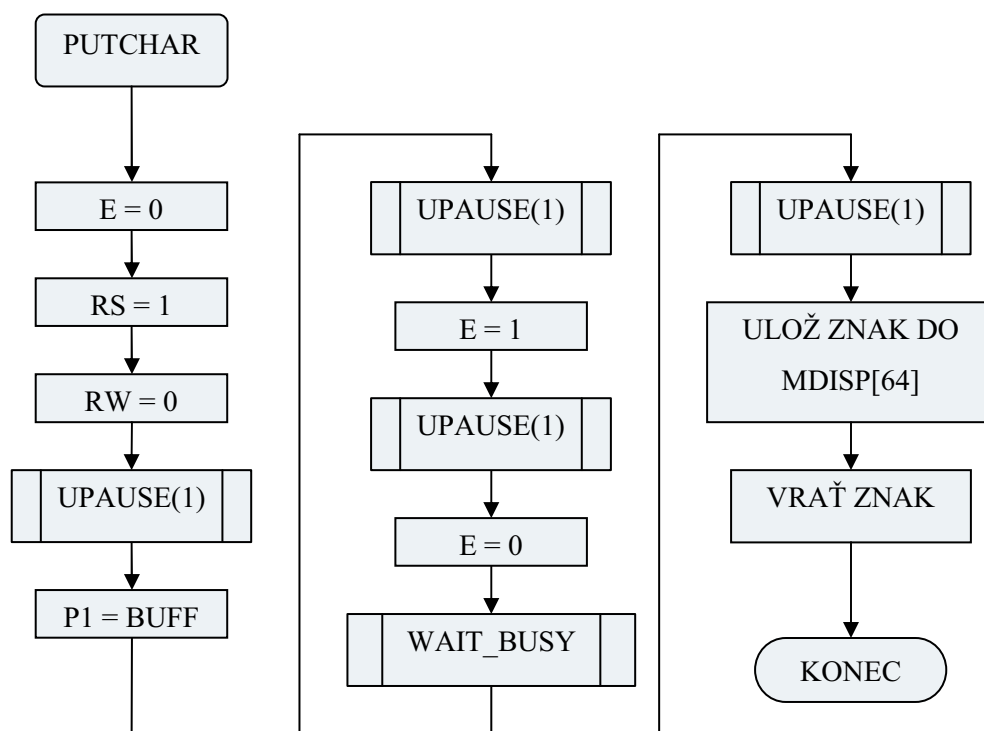


**Obrázek 5.2: Vývojový diagram sekvence pro inicializaci displaye**

V první sekvenci je nutné počkat minimálně 15 ms po dosažení napájecího napětí alespoň 4,5 V a poté zapsat hodnotu 0x30. To se opakuje i v následujících dvou krocích (ale s jinými časy) a až poté lze číst signál BF. Poté dojde k nastavení 8bitové komunikace a dvouřádkovému zobrazení se znaky o velikosti 5x7 bodů (zápis hodnoty 0x38). Display se zapne, kurzor se aktivuje a vypne se jeho blikání (0x0E). Dojde ke smazání displaye (0x01) a nastavení inkrementace při výpisu znaků (0x06). Na závěr proběhne přesun kurzoru na úvodní pozici.

### 5.1.2 Další funkce pro display

Po úspěšné inicializaci je již možné na LCD zobrazovat znaky, mazat jej a dále s ním pracovat. Nejdůležitější z funkcí, které byly pro tyto účely vytvořeny je funkce PUTCHAR sloužící k výpisu znaků na display. Princip její činnosti je popsán a znázorněn níže (viz Obrázek 5.3).



Obrázek 5.3: Vývojový diagram výpisu znaků funkcí PUTCHAR

V první fázi je příkazem  $E = 0$  zamezeno možnosti přijmout znaky na LCD, dokud nedojde k potřebné konfiguraci řídicích signálů. Díky nastavení signálu RS na hodnotu log. 1 bude pracováno s datovým registrem displaye,  $RW = 0$  znamená, že půjde o zápis dat. Po určitých krocích je nutno vyčkat alespoň  $1 \mu s$ , což zajišťuje funkce UPAUSE(1). Následuje zápis znaku BUFF (ten je vstupním parametrem funkce) na port P1 a povolení jeho příjmu displayem ( $E = 1$ ). Tím je znak zobrazen na LCD. Po opětovné blokaci ( $E = 0$ ) čeká mikrokontroler, až dojde ke změně BF a bude tak možné poslat další znak. Na závěr je poslaný znak uložen do pole MDISP a funkcí PUTCHAR vrácen jako výstupní parametr.

Mezi další funkce, sloužící ke zjednodušení práce s LCD a zlepšení jeho přehlednosti, patří CLEAR\_DSP (smazání displaye), GOTOXY\_DSP (přesun kurzoru na žádanou pozici) a AUTOSCROLL\_DSP (pro automatické rolování displaye směrem vzhůru). V textu není jejich podrobnější popis uveden.

## 5.2 Řízení krokových motorů a gravírovací hlavy

Krokové motory jsou napájeny budiči uvedenými v kapitole 4.4, které řídí signály z portu P0 (KM pro osu y) a P2 (KM osy x). Směr otáčení motorů je dán sekvencí spínání jednotlivých fází podle předem daného postupu (viz Obrázek 3.7).

Řízení gravírovací hlavy je zajištěno integrovaným obvodem L293D (viz kapitola 4.5) ovládaného piny P3.2, P3.6 a P3.7 mikrokontroleru.

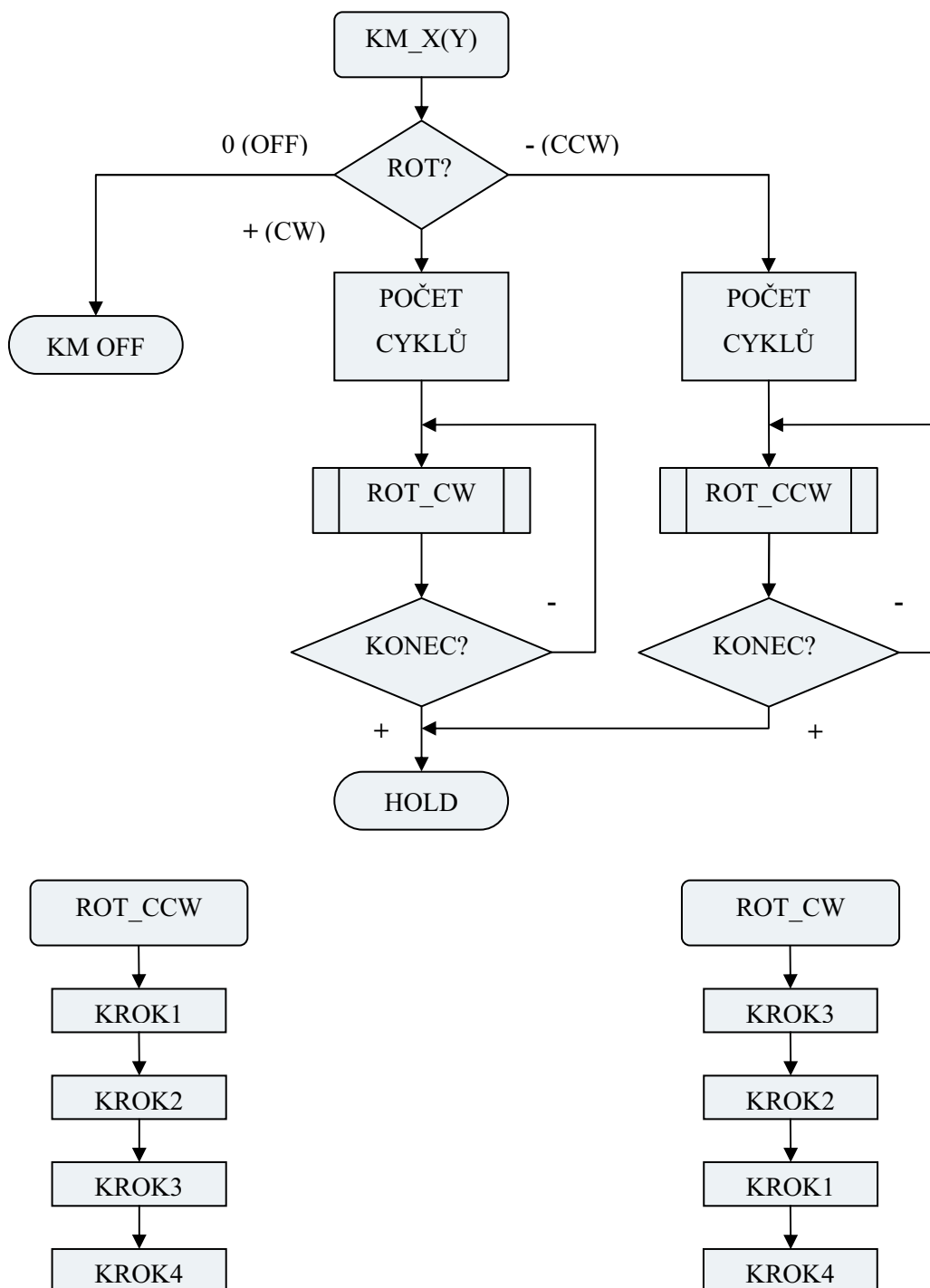
### 5.2.1 Krokové motory

Každé sepnutí patřičné fáze KM z této sekvence je reprezentováno blokem KROK1 až KROK4, které uvádí Obrázek 5.4. Blok v sobě zahrnuje nastavení vstupních signálů INPUT1 – INPUT4 budiče L298N do požadované kombinace a sepnutí tranzistorů H-můstku řídicími signály ENABLE\_A a ENABLE\_B. Následuje odměření časového intervalu 4 ms, aby měl KM dostatek času pro pootočení o jeden krok. Hodnota tohoto času byla stanovena experimentálně s přihlédnutím k možnostem celého gravírovacího zařízení. Při třech a méně ms docházelo k rezonancím plotteru, což vedlo k nepříjemným zvukovým efektům a také by mohlo mít za následek poškození celého zařízení.

Zda bude probíhat otáčení po směru hodinových ručiček (anglicky zapsáno zkratkou CW) nebo proti směru (CCW) je dáno bloky ROT\_CW a ROT\_CCW. Ty v sobě obsahují kombinaci čtyř bloků KROK v dané sekvenci. Po zavolání ROT\_CW nebo ROT\_CCW krokový motor vykoná čtyři své kroky. Pro otočení hřídele KM o jednu celou otáčku tedy není nutné 200x volat bloky KROK v daném sledu, ale pouze 50x blok ROT (při jednom jeho zavolání se plotter posune o 0,1 mm, což pro účely gravírování plně dostačuje).

Pro účely řízení pohybu plotteru v hlavním programu (jeho popis je uveden níže) slouží funkce KM\_X a KM\_Y. Tyto funkce jsou si principem identické, pouze s tím rozdílem, že první slouží pro KM osy x a druhá pro KM osy y plotteru. Dále bude popsána funkce KM\_X.

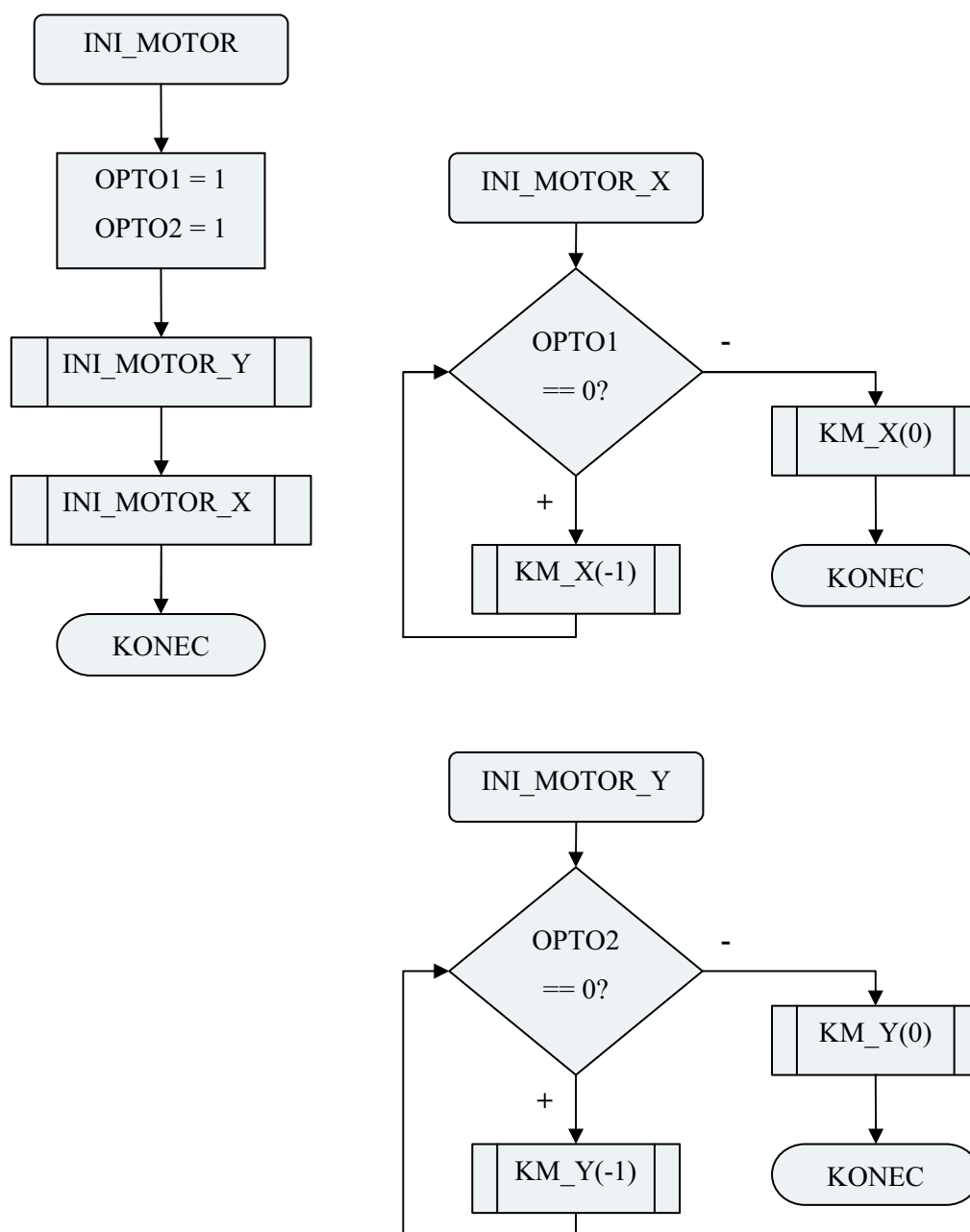
Jejím vstupním argumentem je číslo ve formátu integer. Na základě jeho znaménka je rozhodnuto, kterým směrem se bude KM otáčet (ROT?). Kladné znaménko značí směr CW, záporné CCW a v případě nuly jsou na vstupy budiče poslány nuly a KM je tedy vypnut. V cyklu for proběhne volání bloku ROT\_CW nebo ROT\_CCW tolikrát, jak velká je hodnota vstupního argumentu v absolutní hodnotě. Po ukončení otáčení je na vinutí KM proud dále přiváděn a motor je tedy zabrzděn (HOLD).



Obrázek 5.4: Vývojový diagram řízení KM

## 5.2.2 Inicializace plotteru

Vždy po spuštění gravírovacího zařízení, resetu mikrokontroleru nebo ukončení gravírování grafiky je nutné uvést plotter do výchozí pozice. To je zajištěno funkcí `INI_MOTOR` (viz Obrázek 5.5: Vývojový diagram inicializace plotteruObrázek 5.5).

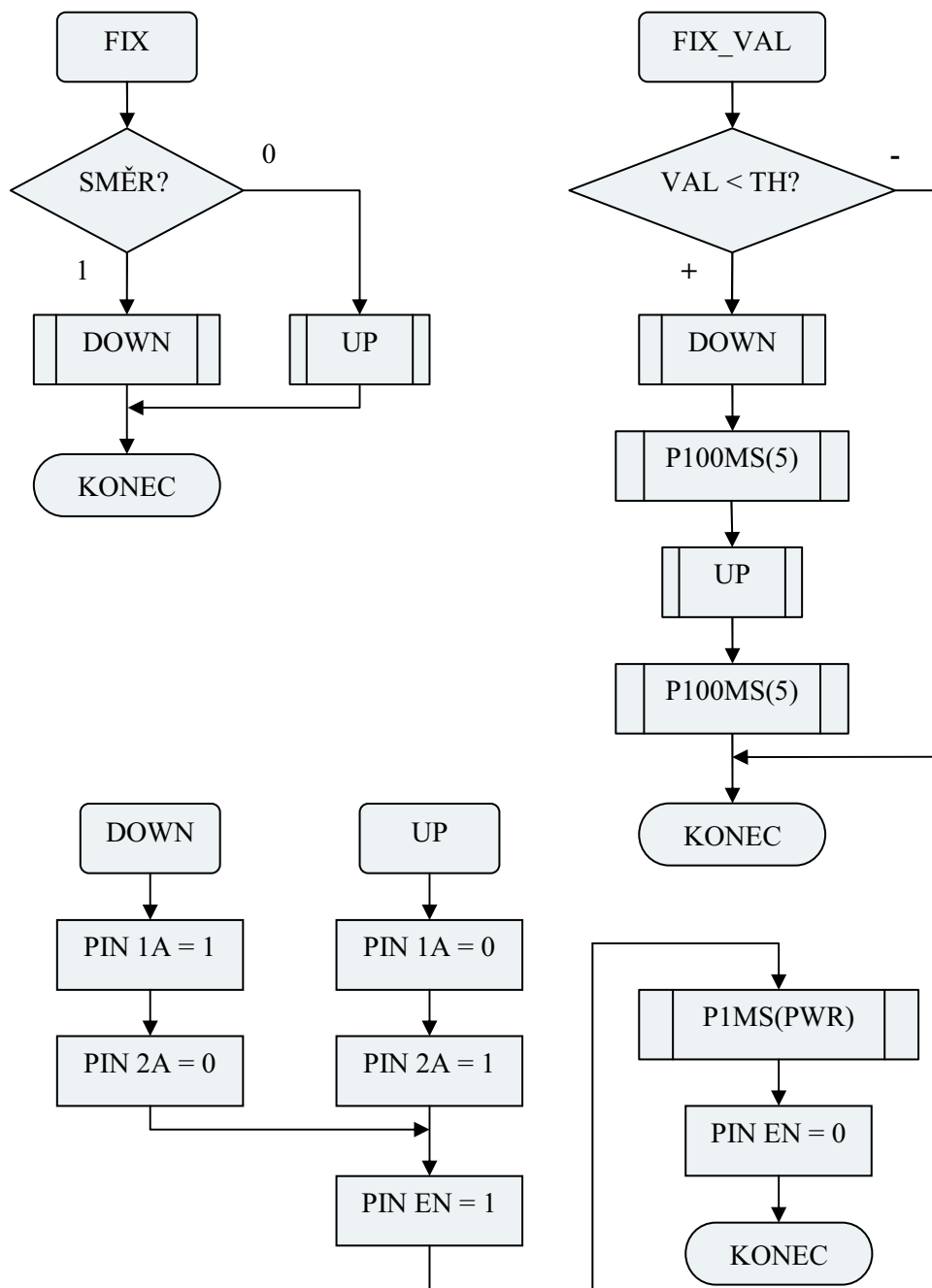


**Obrázek 5.5: Vývojový diagram inicializace plotteru**

Ta nastaví piny P2.2 (OPTO1) a P2.3 (OPTO2) jako vstupní zapsáním log. 1. Následuje volání funkce INI\_MOTOR\_Y, která kontroluje, zda je detektor optické závory ozářen emitorem (pokud ano, je na OPTO2 hodnota log. 0) a osa plotteru je tedy mimo výchozí pozici. Na základě této informace probíhá posuv osy plotteru směrem k výchozí pozici a je ukončen, až je detektor optické závory zacloněn stínítkem (poté má OPTO2 hodnotu log. 1). Nakonec je zavolána funkce INI\_MOTOR\_X a proces proběhne pro druhou osu.

### 5.2.3 Gravírovací hlava

Část programu mikrokontroleru týkající se samotného gravírovacího procesu byla napsána pro druhý možný princip gravírování uvedený v kapitole 4.5 – pomocí fixu. Od použití laseru se během vývoje gravírovacího zařízení ustoupilo. Mikrokontroler tak přes obvod L293D ovládá stejnosměrný motor sloužící k posuvu plastového držáku, v němž je uchycen gravírující fix.



Obrázek 5.6: Vývojový diagram ovládání gravírovací hlavy

Gravírování v programu zajišťují dvě funkce (viz Obrázek 5.6). Jejich rozdíl spočívá v tom, že FIX je určena pro vektorovou grafiku a FIX\_VAL pro bitmapy.

Vstupním parametrem první funkce je hodnota log. 0 nebo log. 1, která rozhoduje o směru pohybu fixu. Na základě této hodnoty je zavolána funkce UP nebo DOWN provádějící nastavení tranzistorů v H-můstku obvodu budiče (piny 1A, 2A) a jejich aktivaci řídicím signálem (pin EN nastaven do log. 1). Vyčká se časový interval daný hodnotou proměnné PWR (power), aby se fix mohl posunout z výchozí pozice, a budič se vypne (EN = 0). Přednastavená hodnota PWR je 50, což odpovídá posunu fixu o 1 cm. Uživatel však má možnost změnit PWR z uživatelského programu (viz dále).

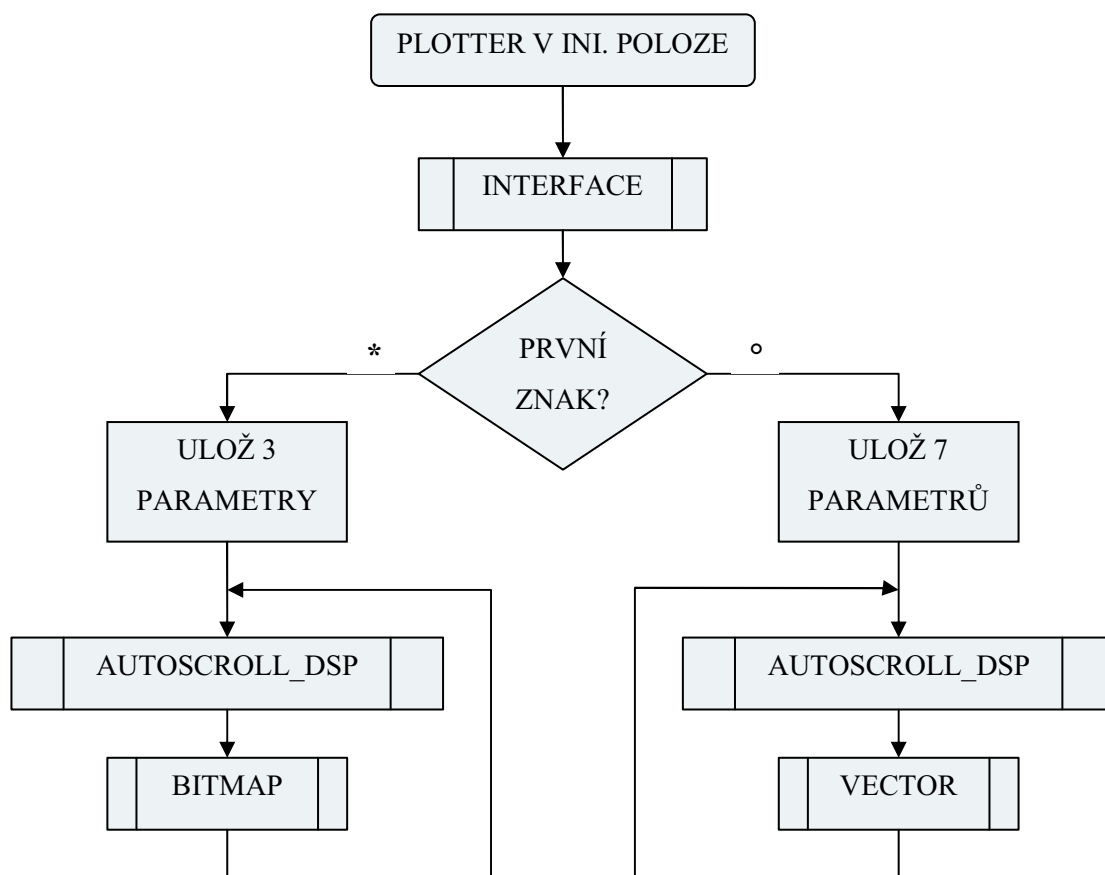
U FIX\_VAL je na začátku dána podmínka, v které se testuje velikost vstupního parametru VAL (value). Pokud je jeho hodnota menší, než je hodnota konstanty TH (threshold), provede se vykreslení bodu bitmapy (fix sjede dolů a poté se vrátí zpět). Pauza 500 ms (reprezentována funkcí P100MS(5)) je nutná z důvodu setrvačnosti pohybu fixu. Každý bod bitmapy má svou hodnotu VAL, která reprezentuje jeho jasovou úroveň v šedotónové stupnici. Hodnota TH je přednastavena na 1, k vykreslení bodu dojde tedy pouze v případě, že VAL bude 0 (to odpovídá černé barvě).

## 5.3 Hlavní program

Jak již bylo popsáno v kapitole 5.1, část hlavního programu se nachází v souboru DP\_gravirovacka.c. Je určena pro zjištění, který typ grafiky se bude gravírovat (bitmapa nebo vektor) a uložení základních parametrů důležitých pro další průběh gravírování, které jsou přijaty z PC. Obrázek 5.7 ve formě vývojového diagramu znázorňuje celou tuto úvodní operaci.

Po najetí plotteru do úvodní pozice je spuštěna funkce INTERFACE, která čeká, dokud nebude přijat první znak (který je stejně jako všechny následující znaky typu unsigned char). Na jeho základě je rozhodnuto, zda bude několik následujících přijatých znaků reprezentovat hodnoty tří parametrů bitmapy (šířka a výška obrázku, vzdálenost bodů) nebo sedmi parametrů vektorové grafiky (typ vektoru, hodnota PWR, čtyři parametry vektoru a vzdálenost bodů, ze kterých bude vytvořen výsledný vektor).

Na závěr dojde ke spuštění nekonečné smyčky, ve které běhá funkce BITMAP nebo VECTOR spolu s AUTOSCROLL\_DSP pro automatické rolování displaye. Následující dvě kapitoly detailně popisují funkce BITMAP a VECTOR.



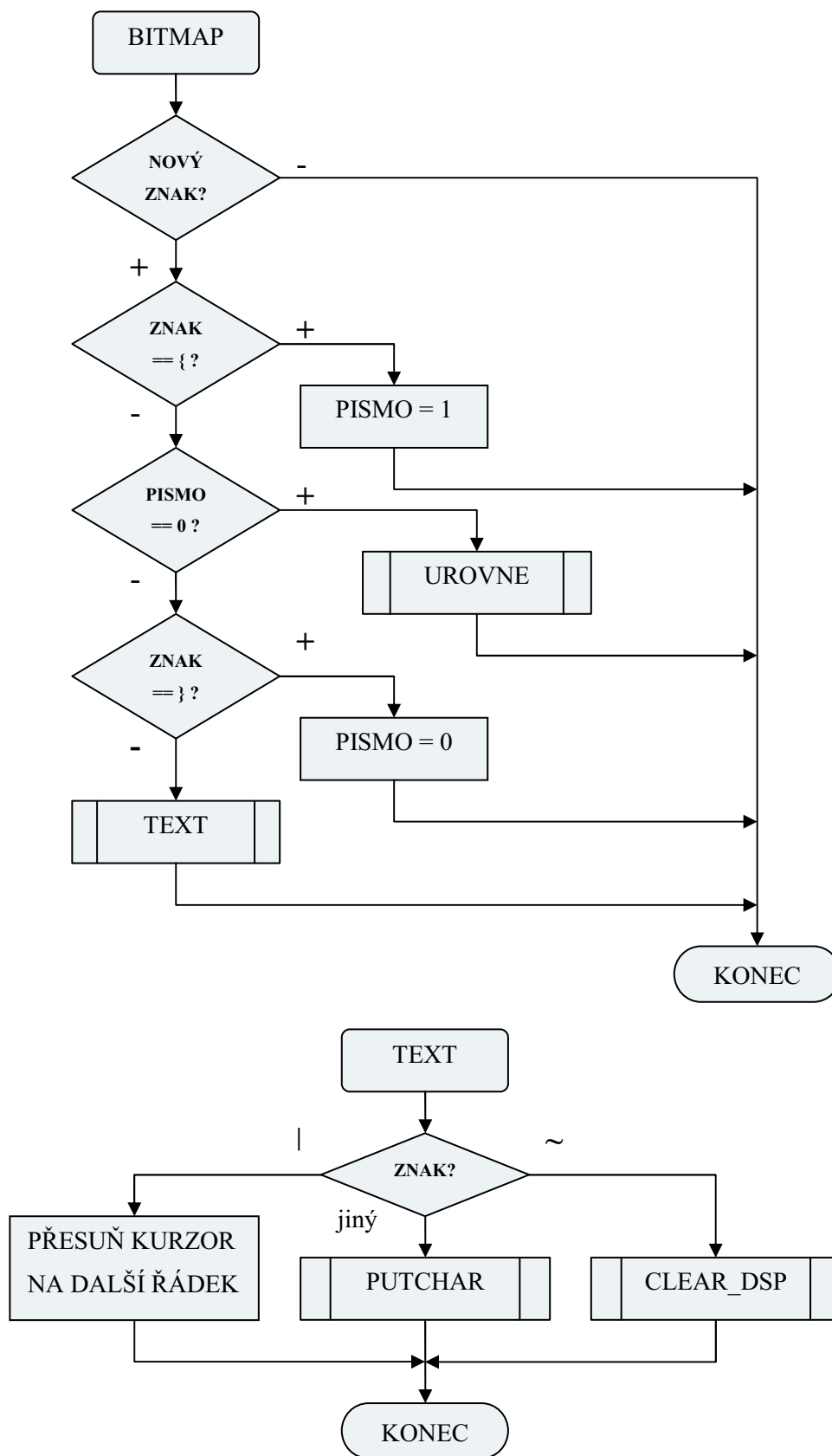
**Obrázek 5.7: Vývojový diagram první části hlavního programu**

### 5.3.1 Gravírování bitmapy

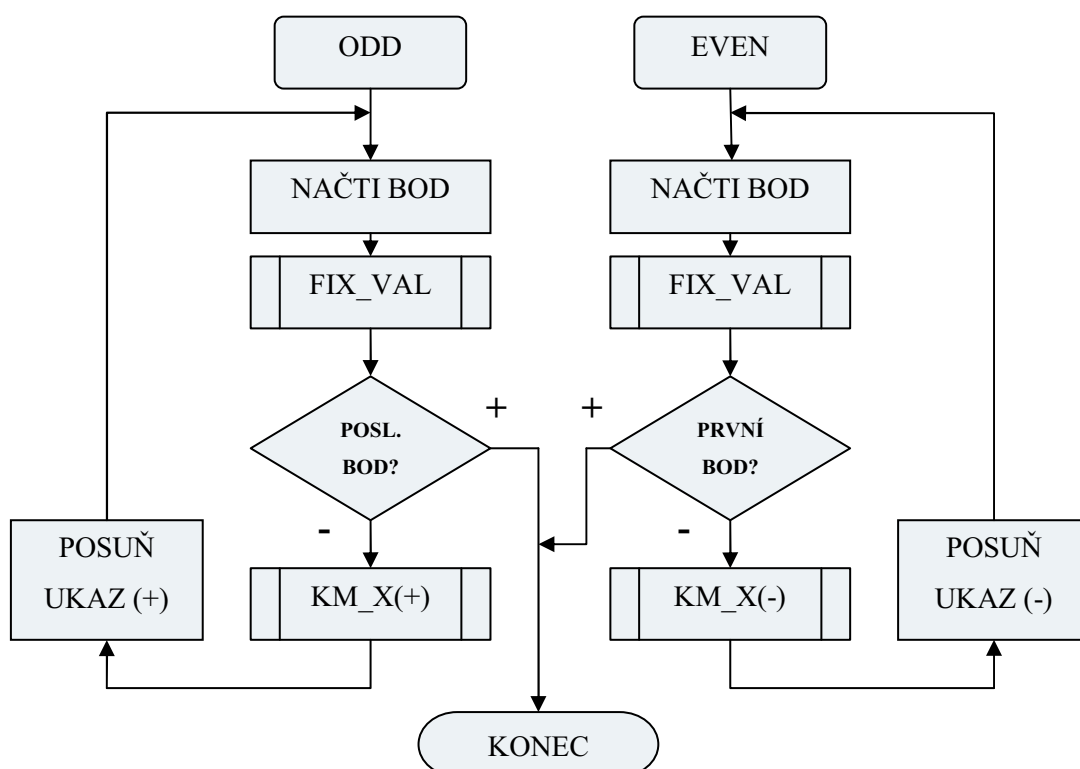
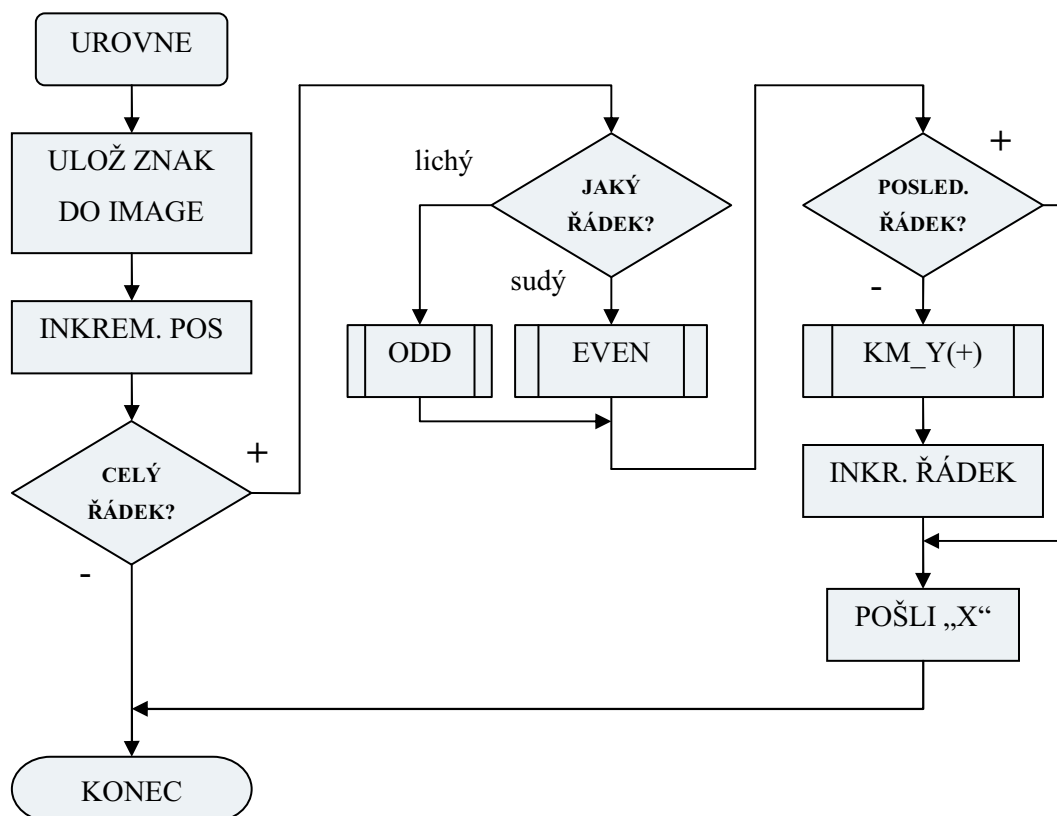
Před spuštěním funkce BITMAP je na základě znalosti parametru definujícího šířku bitmapové grafiky nastavena velikost pole IMAGE, do kterého budou ukládány hodnoty jasových úrovní jednotlivých bodů vždy v rámci jednoho řádku grafiky.

Samotná funkce BITMAP (viz Obrázek 5.8) slouží k rozlišení, zda přijatý znak vyjadřuje jasovou úroveň bodu, zda se jedná o znak, který je potřeba vypsát na display nebo o tzv. speciální znaky (k úpravě displaye). V případě, že chce řídicí program umístěný v PC (jeho popis je uveden níže) vypsát nějaký text na display nebo jej např. smazat, musí být daný text nebo speciální znak umístěn mezi závorkami { }. Jinak je znak přijatý mikrokontrolerem chápán jako jasová úroveň bodu a uložen do pole IMAGE funkcí UROVNE. Samotné závorky { } nebo speciální znaky (| a ~) na display vypsány nejsou. Režim psaní textu nebo práce se speciálními znaky je indikována hodnotou log. 1 proměnné PISMO (po zapnutí mikrokontroleru má hodnotu log. 0).





Obrázek 5.8: Vývojový diagram funkce BITMAP a TEXT



Obrázek 5.9: Vývojový diagram funkce UROVNE

Obrázek 5.9 popisuje, jakým způsobem je vykreslen vždy jeden řádek grafiky. Nejprve se při každém zavolání funkce UROVNE uloží hodnota jasu bodu do pole IMAGE a dojde k inkrementaci jeho ukazatele POS. Pokud jsou již všechny body pro daný řádek uloženy, provede se skok do rutiny ODD nebo EVEN v závislosti na tom, zda se jedná o lichý nebo sudý řádek grafiky (provádí se pomocí operace modulo 2 s proměnnou ŘÁDEK).

V rutině ODD se načte hodnota jasové úrovně prvního bodu, předá se funkci FIX\_VAL a ta vyhodnotí, zda dojde k vykreslení bodu či nikoliv (záleží na velikosti hodnoty TH). Následuje test, zda se jednalo o poslední bod řádku. Pokud ne, provede se posun plotteru v ose x v kladném směru (tedy od výchozí pozice) o počet kroků definovaný uživatelem. Poté je inkrementován ukazatel (UKAZ) na bod v poli IMAGE a načten další bod. Princip kreslení se opakuje, dokud není vykreslen poslední bod (v tom případě je rutina ODD je ukončena). EVEN funguje stejným způsobem jako ODD, ale s tím rozdílem, že je nejprve načten poslední bod řádku a při vykreslování se postupuje směrem k prvnímu bodu. Díky těmto dvěma směrům gravírování došlo k úspoře času, který by jinak zabral přesun plotteru na pozici prvního bodu dalšího řádku, pokud by existoval jen jeden směr gravírování.

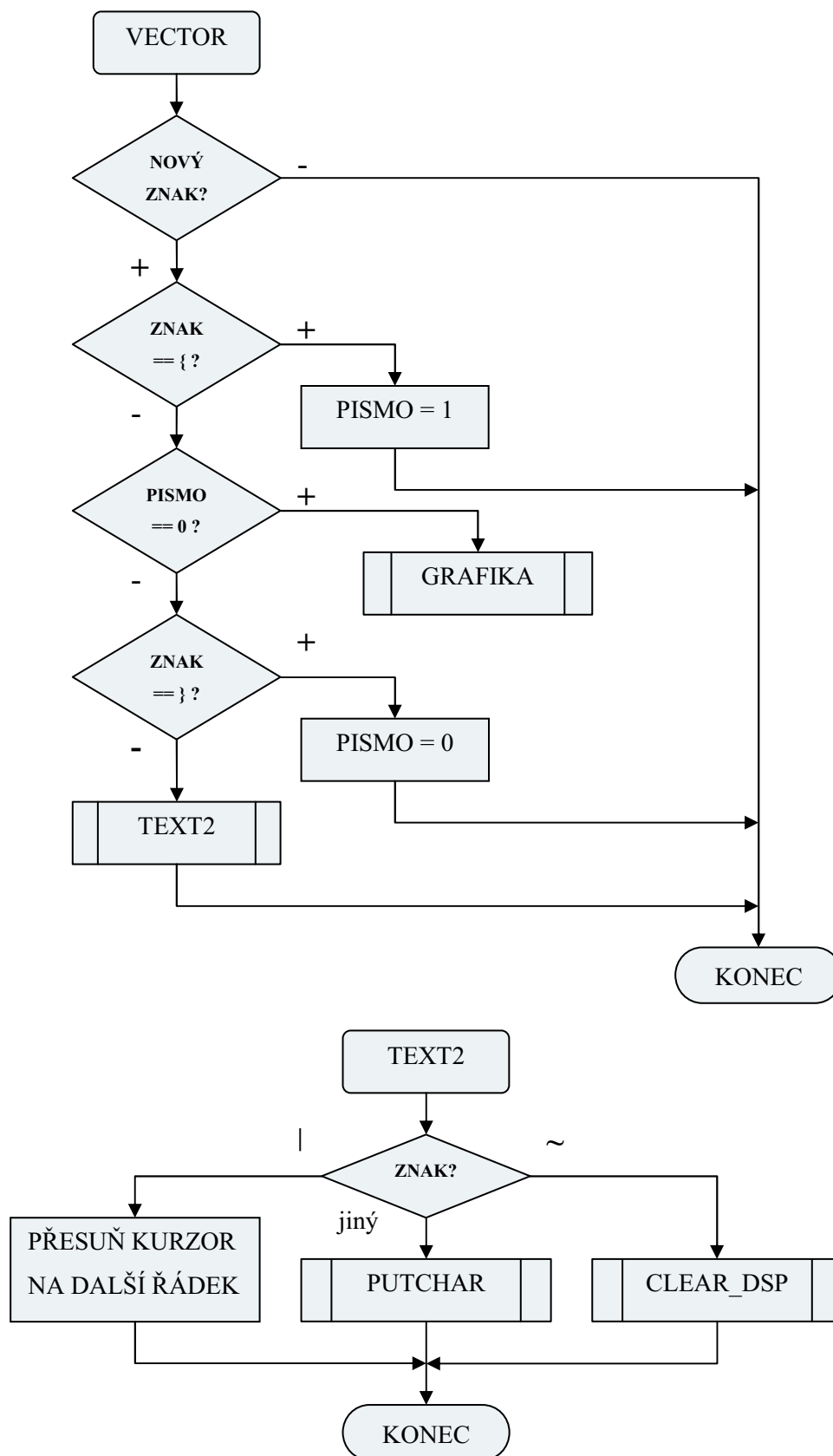
Po vykreslení jednoho řádku se provede test, zda se nejednalo o poslední řádek grafiky. V záporném případě je plotter posunut v ose y v kladném směru a inkrementována proměnná ŘÁDEK. Na závěr je přes sériový port do PC zaslán znak „X“, který znamená, že je mikrokontroler připraven přijmout další data (text, speciální znaky, hodnoty pro další řádek bitmapy).

### 5.3.2 Gravírování vektorové grafiky

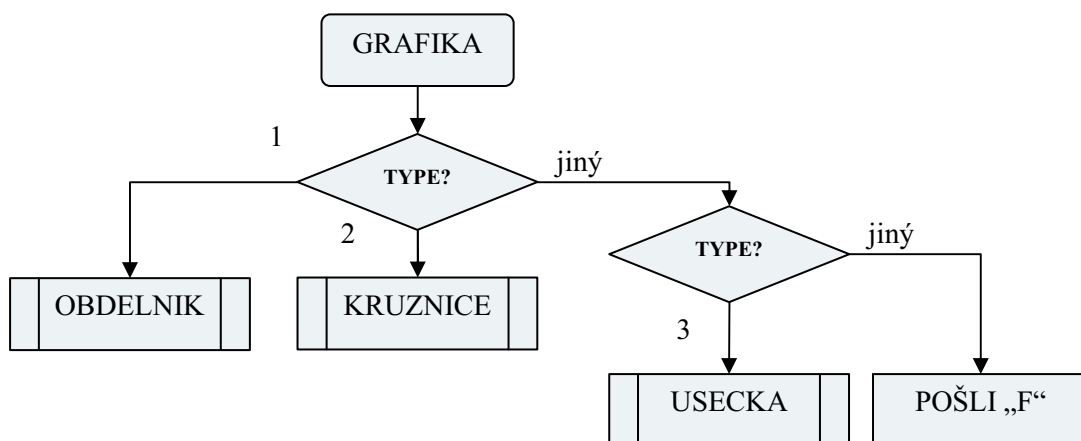
Funkce VECTOR (viz Obrázek 5.10) slouží k rozlišení, zda se má být na display vypisován text přijatý z PC (opět musí být v závorkách { }, stejně jako speciální znaky) nebo má být zahájeno gravírování vektoru na základě již přijatých sedmi parametrů vektoru.

Pokud je přijat znak, který nebyl umístěn mezi závorky, uvede se v činnost funkce GRAFIKA, která má za úkol rozeznat o jaký typ vektoru se jedná (na základě parametru TYPE přijatého z PC) a spustit odpovídající funkci. Tento postup znázorňuje Obrázek 5.11. Vykreslit je možné tři typy vektorů – obdélník (funkce OBDELNIK), kružnici (KRUZNICE) nebo úsečku (USECKA). Pokud by uživatel v PC zadal hodnotu proměnné TYPE mimo rozsah 1 – 3, pošle mikrokontroler PC znak „F“, což znamená chybovou situaci. Dojde pak k vypsání chybové zprávy na display a současně i na monitor počítače (v prostředí Matlab).

Následující část této kapitoly je rozdělena do tří částí, z nichž každá se zabývá gravírováním jednoho ze tří možných vektorů.



Obrázek 5.10: Vývojový diagram funkce VECTOR a TEXT2



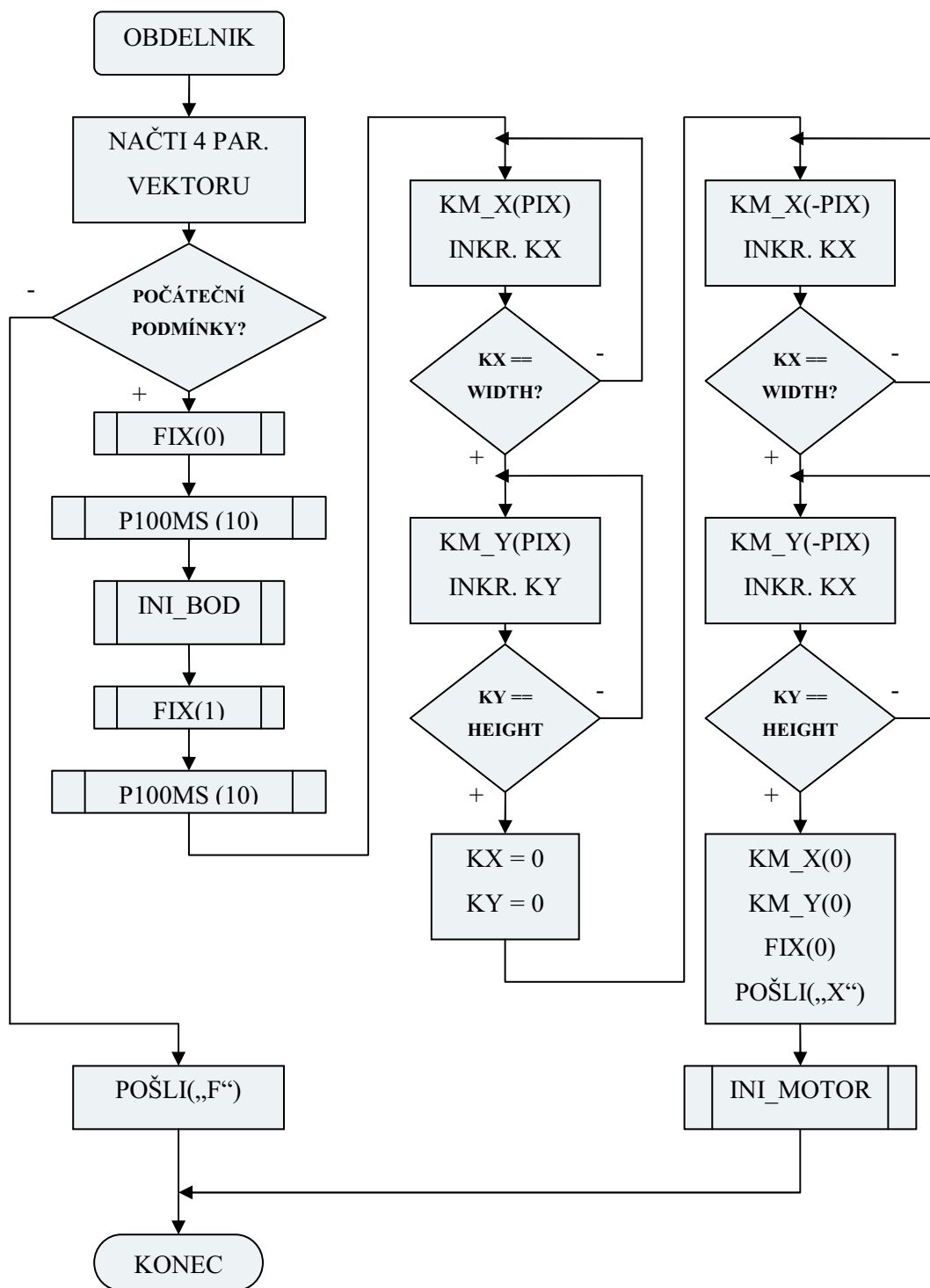
**Obrázek 5.11: Vývojový diagram funkce GRAFIKA**

### 1. Obdélník

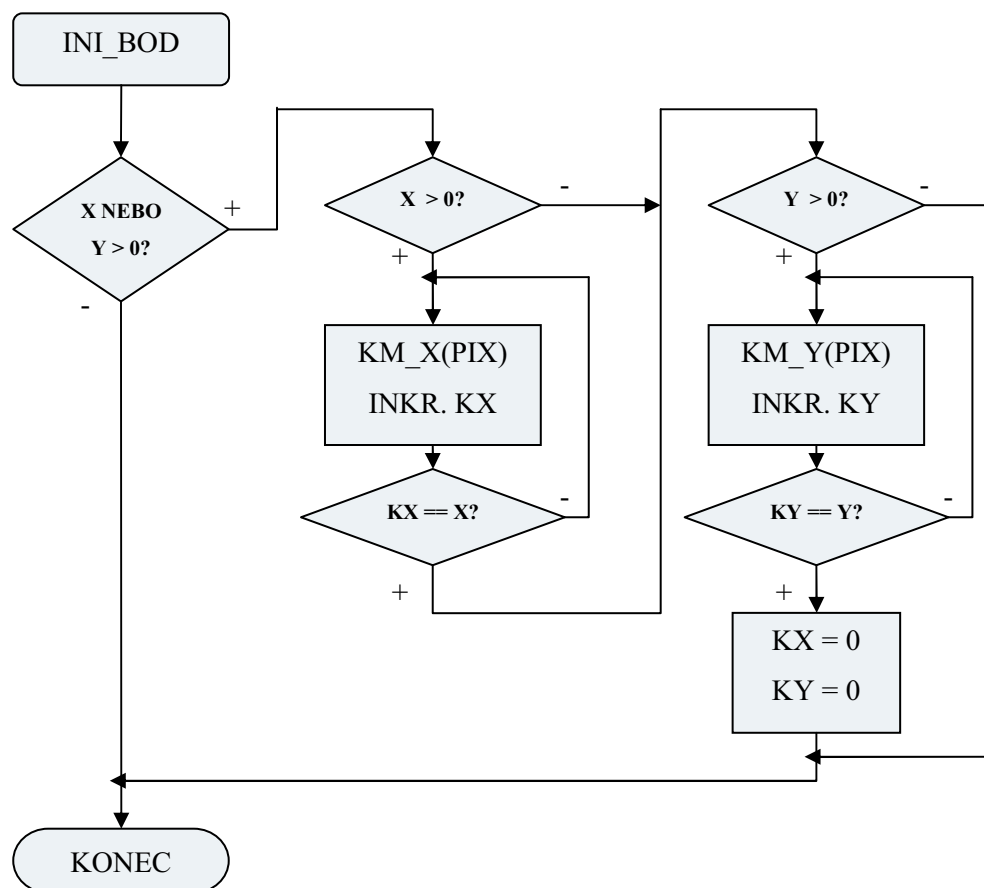
U tohoto vektoru udává dvojice ze čtyř parametrů pozici výchozího bodu vzhledem k ose x (parametr X) a ose y (Y). Zbývající dva pak šířku obdélníku (WIDTH) a jeho výšku (HEIGHT).

Po spuštění funkce OBDELNIK (viz Obrázek 5.12) dojde k ověření, zda nejsou načtené parametry mimo povolené meze. Pokud ano, je funkce ukončena a do PC poslán chybový znak „F“. Jsou-li zadány hodnoty v pořádku, zvedne se gravírovací fix, počká se 1 s a skočí se do rutiny INI\_BOD (viz Obrázek 5.13). Tam je zjištěno, zda je poloha výchozího bodu mimo pozici [0,0]. V kladném případě krokové motory posunou plotter na žádanou pozici. Pomocné proměnné KX a KY slouží k informaci, v jaké poloze se v dané chvíli plotter nachází. Jejich hodnota je na počátku 0. Proměnná PIX je sedmým parametrem, který uživatel zadává a určuje výslednou velikost vektoru (násobek původní velikosti dané hodnotami WIDTH a HEIGHT).

Ve chvíli, kdy je plotter v požadované pozici, dojde k přesunu fixu na gravírovaný materiál a začne se gravírovat nejprve vodorovná strana v kladném směru, pak svislá strana v kladném směru, vodorovná strana v záporném směru a na závěr svislá strana v záporném směru posuvu. Tím je vektor vykreslen. Následuje vypnutí motorů, vyjetí fixu nahoru a posun plotteru do pozice [0,0].



Obrázek 5.12: Vývojový diagram vektorové grafiky - obdélník



**Obrázek 5.13: Vývojový diagram rutiny INI\_BOD**

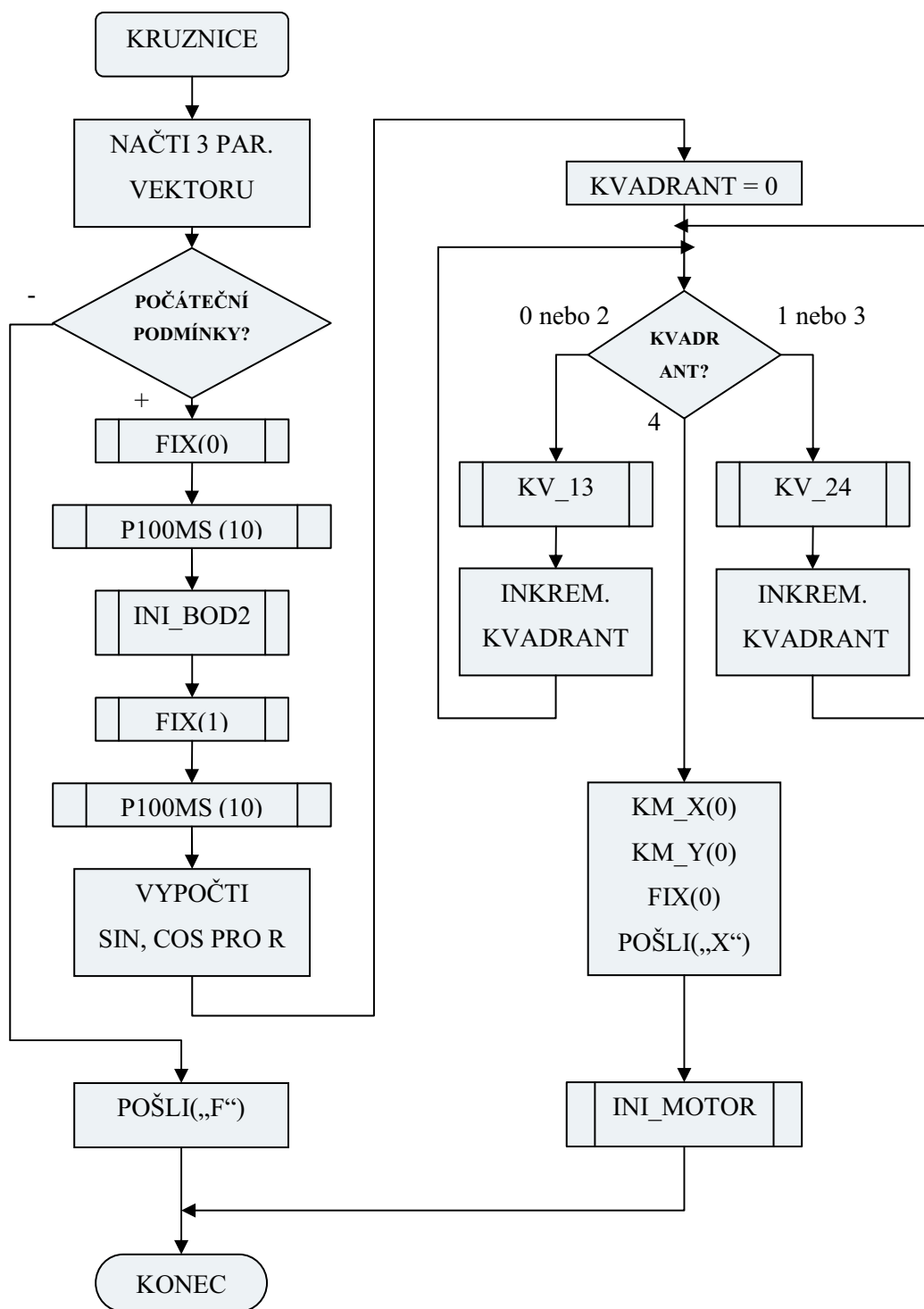
## 2. Kružnice

Aby bylo možné kreslit vektor ve tvaru kružnice, bylo do pole SINUS, které se nachází v paměti mikroprocesoru, uloženo 91 čísel ve formátu float, které reprezentují hodnoty goniometrické funkce sinus v jednotkové kružnici pro úhly  $0 - 90^\circ$ . Z těchto dat jsou pak v programu jednoduchým způsobem vypočteny i potřebné hodnoty funkce kosinus (pro stejné úhly).

Funkce KRUZNICE jako jediná vyžaduje pro svou funkci pouze tři ze čtyř parametrů definujících vektor. Jde se o vzdálenost středu kružnice vzhledem k ose x (parametr CX), k ose y (CY) a číslo udávající poloměr (R). Na hodnotě čtvrtého parametru nezáleží.

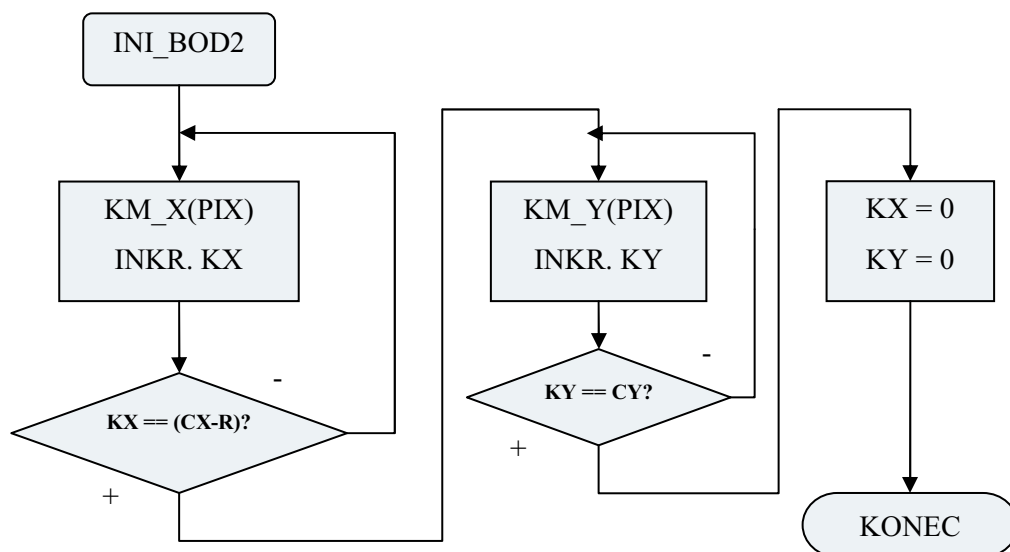
Stejně jako u funkce OBDELNIK dojde i zde nejprve k ověření, zda nejsou načtené parametry mimo povolené meze (viz Obrázek 5.14). Následuje zvednutí fixu a přesun plotteru na první pozici (to zajistí rutina INI\_BOD2 znázorněná viz). Tato pozice odpovídá v ose y hodnotě CY a v ose x rozdílu CX-R. Gravírovat se tedy začne od úhlu  $0^\circ$  na pomyslné jednotkové kružnici. Předem je však nutné vypočítat hodnoty sinu a kosinu pro všech 91 úhlů vzhledem k průměru kružnice R. Při výpočtech dojde k převodu z formátu float na unsigned char a tedy k oříznutí desetinné části, aby bylo

číslo reprezentováno pouze celými čísly v rozsahu 0 – 255. To je nezbytné, protože vykreslovat lze pouze po celých krocích. Hodnoty vypočtených goniometrických funkcí jsou uloženy do polí SIN\_UC a COS\_UC.



**Obrázek 5.14: Vývojový diagram vektorové grafiky - kružnice**





**Obrázek 5.15: Vývojový diagram rutiny INI\_BOD2**

Rutina KV\_13 a KV\_24 v této diplomové práci nejsou popsány ve formě vývojových digramů, ale na příkladu zdrojového kódu KV\_13 (viz Obrázek 5.16), který je doplněn slovním popisem. Vzhledem k tomu, že rozdíl mezi KV\_24 a KV\_13 je jen v jistých detailech, není zde KV\_24 uvedena a rozdíly mezi nimi jsou vysvětleny níže.

Na úvod každého průběhu cyklu for jsou do pomocných proměnných LAST\_X, LAST\_Y, NEW\_X a NEW\_Y načteny hodnoty kosinu a sinu jednoho úhlu a následujícího úhlu kružnice (v rozsahu 0 – 90°). Provede se srovnání, zda je mezi hodnotami kosinu a sinu dvou úhlů rozdíl a v případě, že ano, daný krokový motor posune plotter o počet kroků odpovídající rozdílu ve směru dané osy. Směr, kterým bude plotter v rámci osy posouván, záleží na skutečnosti, o jaký kvadrant se v současné chvíli jedná (1. kvadrant se vykresluje, když je proměnná KVADRANT rovna 0, 3. kvadrantu odpovídá hodnota 2 této proměnné).

Rutina KV\_24 se liší tím, že cyklus for běží v režimu dekrementace od hodnoty 90 po hodnotu 0 a proměnné NEW\_X a NEW\_Y jsou získávány z polí pomocí indexu [i-1]. K vykreslování 2. kvadrantu dochází, když má proměnná KVADRANT hodnotu 1 (pro 4. kvadrant pak hodnotu 3). Při pohybu plotteru po ose y se u KV\_24 otáčí motor na druhou stranu, než je tomu u KV\_13.

Poté, co jsou všechny čtyři kvadranty kružnice vykresleny, fix vyjede nahoru, PC je zaslán potvrzující znak „X“ a následuje inicializace plotteru funkcí INI\_MOTOR.

```

for (i=0;i<90;i++)
{
    last_x = cos_uc[i];
    last_y = sin_uc[i];

    new_x = cos_uc[i+1];
    new_y = sin_uc[i+1];

    if (new_x < last_x)
    {
        pos_x = last_x - new_x;
        for (kx=0;kx<pos_x;kx++)
        {
            if (kvadrant == 0)
            {
                km_x(size_pix);
                pozice_x++;
            }
            if (kvadrant == 2)
            {
                km_x(-size_pix);
                pozice_x--;
            }
        }
    }

    if (new_y > last_y)
    {
        pos_y = new_y - last_y;
        for (ky=0;ky<pos_y;ky++)
        {
            if (kvadrant == 0)
            {
                km_y(size_pix);
                pozice_y++;
            }
            if (kvadrant == 2)
            {
                km_y(-size_pix);
                pozice_y--;
            }
        }
    }
}

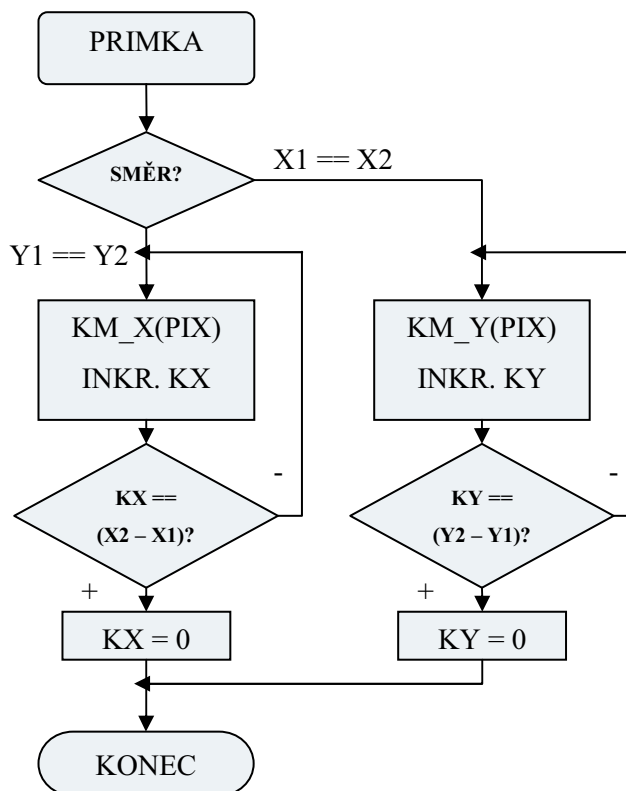
```

**Obrázek 5.16: Zdrojový kód části programu pro grav. kružnice (1. a 3. kvadrant)**

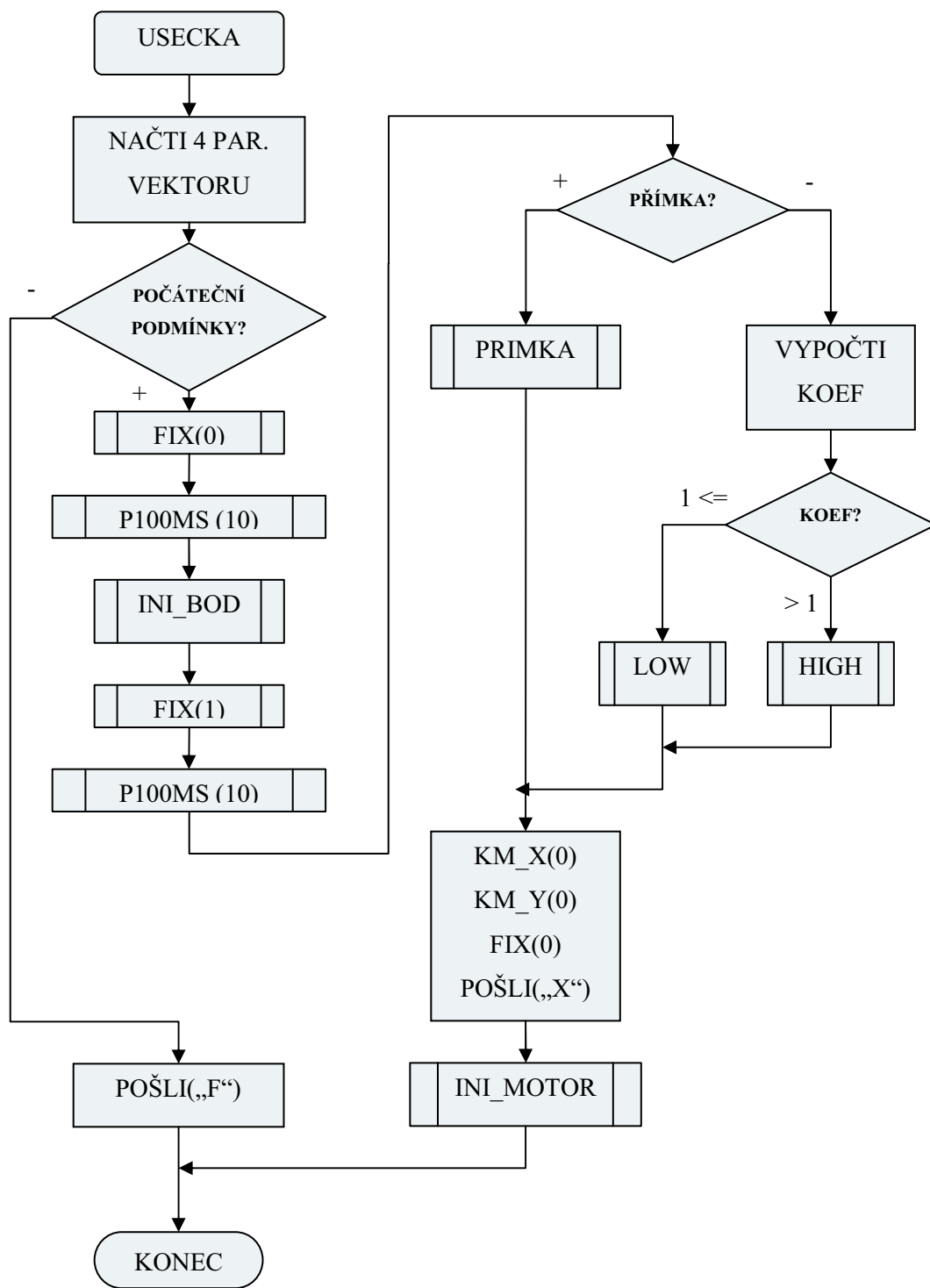
### 3. Úsečka

První dva parametry úsečky udávají výchozí bod (daný hodnotami  $X1$  a  $Y1$ ) a zbylé dva koncový bod ( $X2$  a  $Y2$ ).

Úvodní část funkce USECKA je stejná jako u předchozích dvou (viz Obrázek 5.18). Jsou načteny parametry vektoru, provede se inicializace fixu a najetí plotteru do pozice prvního bodu. Funkce INI\_BOD je stejná jako v případě obdélníku, jen parametry  $X$  a  $Y$  jsou nahrazeny  $X1$  a  $Y1$ . Program postupně testuje, zda nebyla zadána na vykreslení speciální varianta úsečky – přímka (tedy  $X1$  se rovná  $X2$  nebo  $Y1$  se rovná  $Y2$ ). V kladném případě se běh programu přesune do rutiny PRIMKA (viz Obrázek 5.17). Pokud se ale nejedná o přímku, je z hodnot všech čtyř parametrů vypočítána hodnota KOEF (tedy koeficient „ $k$ “ v rovnici úsečky  $y = kx + q$ ) a na základě její velikosti zavolána rutina LOW (viz Obrázek 5.19) nebo HIGH. Po jejich ukončení fix vyjede nahoru a plotter zajede do polohy  $[0,0]$ .



Obrázek 5.17: Vývojový diagram vykreslování přímek ve dvou osách



Obrázek 5.18: Vývojový diagram vektorové grafiky - úsečka

```

for (kx2=0;kx2<jmen;kx2++)
{
    km_x(size_pix);
    pozice_x++;
    vys = vys + koef; /* hodnota y v bode x - nikdy neklesa! */
    p100ms(1);

    if (vys >= 1.0)
    {
        if (y2 > y1) /* usecka vzrusta v ose y */
        {
            km_y(size_pix);
            pozice_y++;
        }
        else
        {
            km_y(-size_pix); /* usecka klesa v ose y */
            pozice_y--;
        }
        p100ms(1);
        vys = vys - 1.0;
    }
}

```

**Obrázek 5.19: Zdrojový kód rutiny LOW**

Ještě před zavoláním LOW programem, je vypočítána hodnota proměnné JMEN ( $JMEN = X2 - X1$ ), která udává, kolikrát se provede posun plotteru po ose x. Ten je zajištěn funkcí KM\_X, jehož vstupním parametrem je vzdálenost bodů vektoru (definuje uživatel). Postupně je vždy k proměnné VYS (typ float, na počátku cyklu má hodnotu 0) přičtena hodnota KOEF a ověřeno, zda je její hodnota větší nebo rovna než 1. To značí, že má být proveden pohyb plotterem v ose y. Směr, kterým se plotter pousne závisí na skutečnosti, zda úsečka v ose stoupá ( $Y2 > Y1$ ) nebo klesá ( $Y2 < Y1$ ). Na závěr je hodnota VYS snížena o 1, aby v příštím kroku cyklu bylo zřejmé, zda má být proveden posuv po ose y.

Mezi LOW a HIGH je v principu jen jeden rozdíl – v jednom cyklu for navíc. Ten HIGH obsahuje z důvodu, že KOEF má hodnotu větší než 1 a tedy během jednoho posuvu v ose x může být provedeno více posuvů po ose y. Slon úsečky je tedy více než  $45^\circ$  (pokud stoupá) nebo méně než  $-45^\circ$  (když klesá).

## 6 POPIS UŽIVATELSKÉHO ROZHRAŇÍ

V programu Matlab R2008b byla vytvořena dvojice souborů (tzv. m-file), do kterých uživatel zadává parametry grafiky určené pro gravírování. V případě, že se jedná o bitmapový obrázek, spustí se m-file BITMAP. Pro vektorovou grafiku slouží soubor VECTOR. Tyto dva m-file zadanou grafiku zpracují a přes sériovou linku pošlou potřebná data mikrokontroleru. Hodnoty všech níže uvedených parametrů je nutné zadávat v celých číslech. Soubory BITMAP.m a VECTOR.m (spolu s jejich pomocnými funkcemi) se nachází na přiloženém CD.

### 6.1 Zadání parametrů bitmapy

Po otevření souboru BITMAP.m musí uživatel v části „Zadání požadovaných parametrů“ zadat hodnoty parametrů, které jsou nutné ke správné funkci programu. Jedná se o položky:

- **nazev** – mezi apostrofy se zadá název bitmapového obrázku i s koncovkou (podporované formáty jsou např. BMP, GIF, ICO, JPEG, PNG, TIFF)
- **rozmer** – požadovaná velikost nejdelší strany bitmapy (šířky nebo výšky) při jejím zmenšení
- **urovne** – počet požadovaných úrovní (odstínů šedi) bodů vygravírov. obrázku
- **rozliseni** – vzdálenost mezi jednotlivými body vygravírovaného obrázku

Aby bylo možné programem tyto položky zpracovat, je nutné dodržet několik podmínek. Pracovní plocha plotteru v ose x je 240 mm a v ose y 125 mm. K tomu se váže přípustná hodnota parametrů rozmer (0 - 240) a rozliseni (1 - 10). Je to dáno krokem krokových motorů, který pousne plotter o 0,1 mm/krok. Při rozliseni = 10 je posuv 1 mm/krok, což v kombinaci s rozmer = 240 znamená rozsah 240 mm.

Pokud má zadaná bitmapa větší rozlišení než 240x125 bodů, dojde v programu k jejímu zmenšení její delší strany na rozměr zadaný v položce rozmer (při zachování stejného poměru stran). Nikdy ale nesmí být výška zmenšené bitmapy větší než 125.

Počet úrovní lze zadat v rozsahu 2 – 255. Program je tedy připraven na použití laseru pro účely gravírování. Pomocí fixu se dají zobrazit jen dvě úrovně (resp. úrovně spadající do jednoho ze dvou rozsahů, jejichž práh záleží na hodnotě proměnné TH mikrokontroleru, viz kapitola 5.2.3).

Po spuštění BITMAP.m je na LCD, umístěném na zařízení GRAVIR 2011, zobrazena informace o průběhu gravírování (který řádek je v současné chvíli gravírován nebo zda je celý proces již hotový) a název gravírované bitmapy. V případě výskytu chyby (špatně zadaný parametr) je o ní uživatel informován vypsáním chybové zprávy na LCD a monitor.

## 6.2 Zadání parametrů vektorové grafiky

Zadat, jak má vypadat vektorová grafika určená pro gravírování, je možné ve dvou režimech – v manuálním či automatickém. Oba jsou obsaženy v souboru VECTOR.m.

Společně mají tyto režimy typy vektorů (obdélník, kružnice, úsečka), které jsou schopny zobrazit. Detailnější popis podporovaných vektorů, jejich parametrů a možných rozsahů nastavení (spolu s doplňujícími podmínkami) je uveden v následujícím rozdělení:

### Obdélník

- **x** – udává polohu prvního bodu obdélníku vzhledem k ose x (0 – 240)
- **y** - udává polohu prvního bodu obdélníku vzhledem k ose y (0 – 125)
- **width** – šířka obdélníku (1 až (240-x))
- **height** – výška obdélníku (1 až (125-y))

### Kružnice

- **cx** – střed kružnice vzhledem k ose x ( $cx \geq r$  a současně  $cx+r \leq 240$ )
- **cy** - střed kružnice vzhledem k ose y ( $cy \geq r$  a současně  $cy+r \leq 125$ )
- **r** – poloměr kružnice (5 – 62)

### Úsečka

- **x1** – poloha výchozího bodu úsečky vzhledem k ose x (0 – 240)
- **y1** - poloha výchozího bodu úsečky vzhledem k ose y (0 – 125)
- **x2** - poloha koncového bodu úsečky vzhledem k ose x (0 – 240 a současně  $x2 \geq x1$ )
- **y2** - poloha koncového bodu úsečky vzhledem k ose y (0 – 125)

Všechny zde uvedené rozsahy vyplývají z omezené pracovní plochy plotteru, stejně jako je tomu u bitmapy. Po spuštění programu v souboru VECTOR je na LCD zobrazena informace o typu gravírovaného vektoru. V případě výskytu chyby (špatně zadaný typ vektoru nebo parametr) je o ní uživatel informován vypsáním chybové zprávy na LCD a monitor.

## 6.2.1 Manuální režim

Manuálním režimem je myšleno zadání všech potřebných parametrů vektorové grafiky (a ještě tří hodnot, která jsou nutná pro správnou činnost programu) ručně. Uživatel musí vypsát hodnoty těchto položek (v daném rozsahu):

- **type** – výběr typu vektoru (1 = obdélník, 2 = kružnice, 3 = úsečka)
- **power** – výška zdvihu fixu (10 – 150; hodnota 50 odpovídá 1 cm)
- **p1** – první parametr vektoru
- **p2** – druhý parametr vektoru
- **p3** – třetí parametr vektoru
- **p4** – čtvrtý parametr vektoru (v případě kružnice zapsat hodnotu 0)
- **resolution** – parametr zvětšení vektoru (1 – 10)

## 6.2.2 Automatický režim

Tento režim je určen pro načtení typu a parametrů vektoru ze souboru ve formátu SVG. Není tedy nutné pro jeho vykreslení tyto položky zadávat.

SVG (Scalable Vector Graphics) je formát souboru, který popisuje dvojrozměrnou vektorovou grafiku pomocí jazyka XML. Jeho tvůrcem je World Wide Web Consortium a důvodem vzniku potřeba otevřeného formátu pro vektorovou grafiku na Internetu (více informací lze získat na [www.w3.org/Graphics/SVG](http://www.w3.org/Graphics/SVG)). Z vektorových tvarů podporovaných formátem SVG je m-file VECTOR schopen zobrazit obdélník, kružnici a úsečku (v odpovídajících rozsazích). V případě, že se v souboru SVG, vyskytuje více vektorů, je vždy programem načten jen první, který odpovídá jednomu ze tří podporovaných typů.

V automatickém režimu musí uživatel vypsát hodnoty těchto položek (v daném rozsahu):

- **nazev** – mezi apostrofy se zadá název SVG souboru i s koncovkou
- **power** - výška zdvihu fixu (10 – 150; hodnota 50 odpovídá 1 cm)
- **resolution** - parametr zvětšení vektoru (1 – 10)



## 7 ZAŘÍZENÍ GRAVIR 2011

Sedmá kapitola je tvořena fotografiemi realizovaného gravírovacího zařízení a jeho dodatečným popisem. Je zde také možno vidět výsledky jeho práce – vytvořenou bitmapu nebo vektorové tvary.

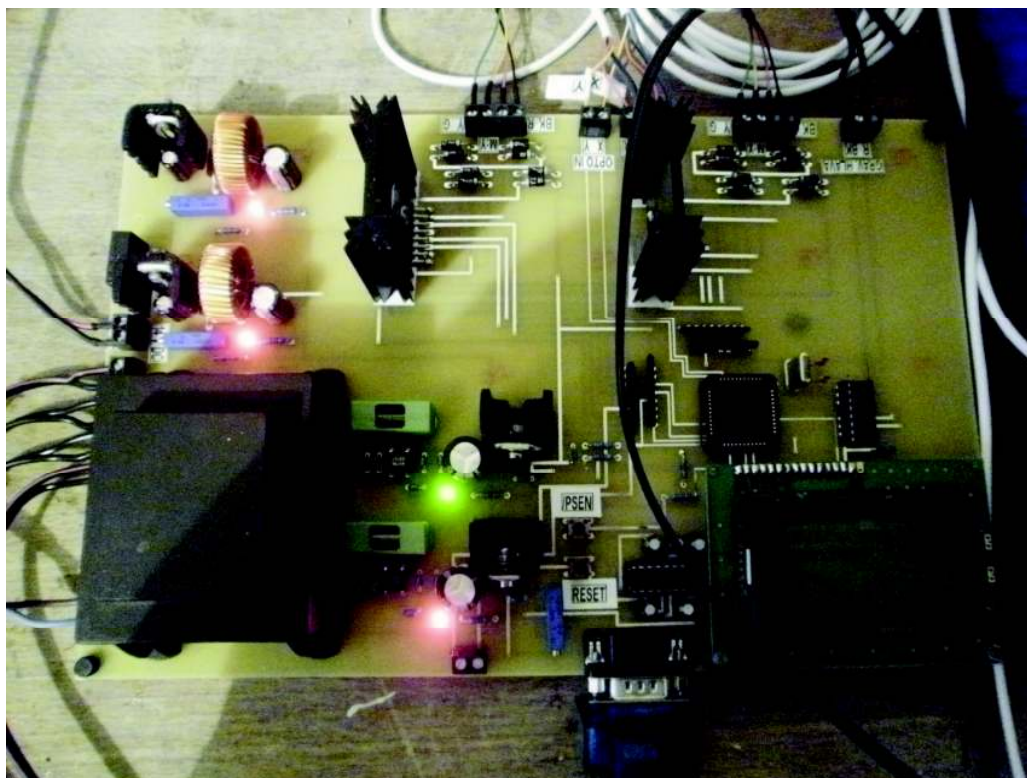


**Obrázek 7.1: Základní část GRAVIR 2011 – plotter s grav. hlavou**

Obrázek 7.1 zobrazuje, jak byl původní plotter upraven, aby pomocí něj bylo možné gravírovat. V popředí se nachází dvě optické závory pro inicializaci, na obou stranách každé osy, po ní se může plotter posouvat, pak také bezpečnostní mikropínač.

Gravírovací hlavice (ve které je upnut fix) je uchycena na dvojici duralových profilů s drážkami, po kterých ji lze posouvat. Podpěru jim tvoří svislý drážkovaný profil umožňující posun celého ramene nahoru nebo dolů.

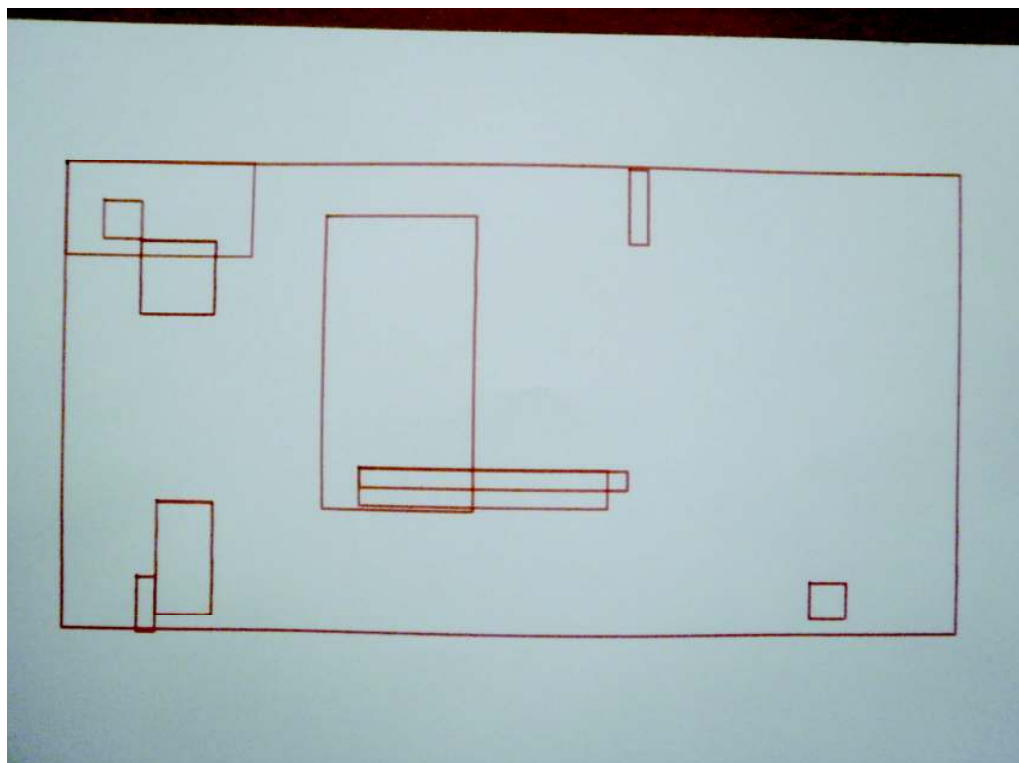
Obrázek 7.2 znázorňuje vytvořenou desku plošných spojů (DPS) v režimu, kdy zařízení pracuje (na displayi je zobrazen text, že se zrovna gravíruje vektor kružnice). Schéma zapojení DPS a podklady pro její výrobu (i se seznamem součástek) jsou kvůli své velikosti uloženy na příloženém CD. Výsledky práce celého zařízení GRAVIR 2011 prezentuje Obrázek 7.3, Obrázek 7.4 a Obrázek 7.5.



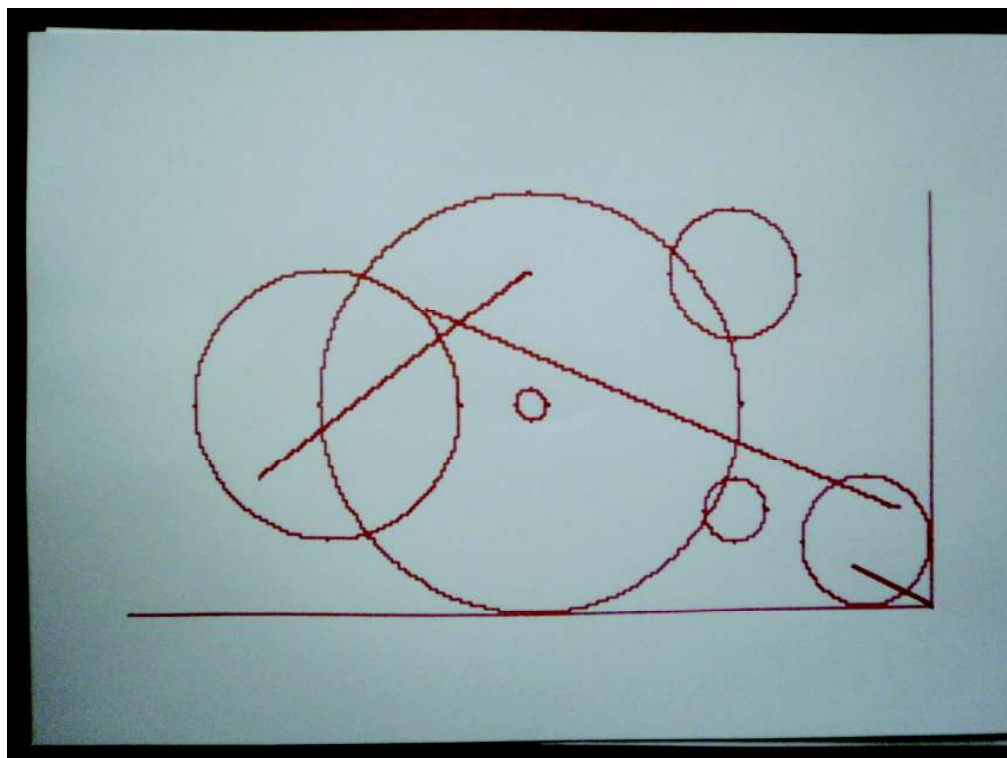
Obrázek 7.2: Deska plošných spojů s LCD



Obrázek 7.3: Bitmapa 174x26 bodů, parametr rozlišení = 10



**Obrázek 7.4: Vektorová grafika – obdélníky (manuální i automatický režim)**



**Obrázek 7.5: Vektorová grafika – kružnice a úsečky (manuální i automat. režim)**

## 8 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvořit zařízení, pomocí kterého by bylo možné přenést zadaný snímek z osobního počítače na podkladový materiál. Gravírování mělo probíhat pomocí laseru nebo fixu.

Základní část celého přístroje – plotter ovládaný dvěma krokovými motory POWERMAX II, byl odpovídajícím způsobem modifikován tak, aby mohl sloužit pro účely gravírování. Šlo především o instalaci duralového ramene, na kterém je uchycena gravírovací hlava. Použitím optických závor umístěných na konci drah, po kterých se plotter posouvá, bylo umožněno zahájit gravírování vždy ze stejného z výchozího bodu. Ochranu plotteru před najetím na dorazy (v případě selhání řídicího programu nebo výskytu jiné chyby) je zajištěna čtyřmi mikrospínači, které v nouzovém případě ihned vypnou napájení krokových motorů.

Mikrokontroler AT89C51ED2 použitý k řízení celého přístroje je umístěn na desce plošných spojů. Ta byla navrhnutá jako jeden celek spolu s napájecími zdroji, budičmi obvodu krokových motorů a displayem. Text vypisovaný na LCD uživatele informuje o typu zpracované grafiky, průběhu gravírovacího procesu a možném výskytu chyby při zadávání parametrů grafiky v PC.

I když ke gravírování je využíván fix, při vývoji celého zařízení GRAVIR 2011 bylo myšleno i na případ, že bude použit laser. Programu mikrokontroleru je pro tuto změnu uzpůsoben. Stačí pouze provést několik úprav v rámci jeho dvou funkcí, aby bylo možné zobrazit na podkladovém materiálu grafiku v šedotónovém spektru. Stejně tak je tomu i u hardwaru. Posuvný modul gravírovací hlavy držící fix může být zaměněn za zdroj laserového paprsku, jehož napájení zajistí obvod umístěný na desce plošných spojů, který nyní slouží pro řízení stejnosměrného motoru pohybujícího fixem.

Uživatelské rozhraní v PC bylo vytvořeno takovým způsobem, aby poskytovalo co největší rozsah možných nastavení vykreslované grafiky. Lze tak vykreslit bitmapu zadanou v jednom z mnoha podporovaných formátů, zvětšit ji až na velikost 240x125 mm nebo přenést na podklad vektor ve tvaru obdélníku, kružnice nebo úsečky. Navíc v případě vektorové grafiky je možné ji načíst ze souboru ve formátu SVG.

# Literatura

- [1] THOMA, Patrik. *Svět tisku - Gravírování jako reklamní technologie* [online]. c2004, [cit. 13.4.2010]. Dostupné z: < [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=3108&buxus\\_svettsku=a2967845eea429048e0ace1644126eed](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=3108&buxus_svettsku=a2967845eea429048e0ace1644126eed) >
- [2] VLASTA, František. *Gravo Tech s.r.o. - Stroje a materiály pro značení v reklamě a průmyslu* [online]. c2010, [cit. 13.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.gravotech.cz/> >.
- [3] *Gravírování - Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. c2010, poslední revize 3.2.2010 [cit. 14.4.2010]. Dostupné z: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gravírování#Pantografy> >.
- [4] *Engraving Machines - Computer and CNC engraving, rotary engraver - Gravograph* [online]. c2009, [cit. 14.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.gravograph.com/usa/engraving-machines/Overview.php> >.
- [5] DVOŘÁKOVÁ, Jana – DVOŘÁK, Jaromír. *Frézování a gravírování nekonvenční technologií AWJ* [online]. c2010, [cit. 16.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovani-a-gravirovani-nekonvencni-technologie-awj> >.
- [6] *Glassrevue - Technologie WJM/AWJ pro řezání pevných materiálů vodním paprskem II.* [online]. c2003, [cit. 16.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.glassrevue.com/news.asp@nid=6709&cid=6.html> >.
- [7] *Glassrevue – přehled* [online]. c2003, [cit. 17.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.glassrevue.com/category-list.asp@cid=6&typ=1.html> >.
- [8] *Laser - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. c2010, poslední revize 12.4.2010 [cit. 17.4.2010]. Dostupné z: < <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser> >.
- [9] ŠMÍD, Jiří. *Lasery pro průmysl* [online]. c2010, [cit. 17.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-pro-prumysl> >.
- [10] *Carbon dioxide laser - Wikipedia, the free encyclopedia encyklopedie* [online]. c2010, poslední revize 12.4.2010 [cit. 17.4.2010]. Dostupné z: < [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_dioxide\\_laser](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_laser) >.
- [11] *CO2-Laser - TRUMPF Lasertechnik* [online]. c2010 [cit. 18.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.trumpf-laser.com/produkte/cosub2sub-laser.html> >.
- [12] *Laser Cutting and Engraving Technology* [online]. c2010 [cit. 18.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.kernlasers.com/technology.htm> >.
- [13] GOLDWASSER, Samuel M.. *Sam's Laser FAQ - Solid State Lasers* [online]. c2010 [cit. 18.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.repairfaq.org/sam/laserssl.htm#sslint> >.
- [14] *PowerLine D 100* [online]. c2010 [cit. 18.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.rofin.com/index.php?id=871&L=1> >.



- [15] JINDROVÁ, Radka – ŘASA, Jaroslav. *Lasery, laserové technologie a stroje s laserem* [online]. c2010, [cit. 18.4.2010].  
Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem> >.
- [16] DOLEŽAL, Ivan. *Svět tisku - Laserové gravírování reklamních předmětů* [online]. c2009 [cit. 18.4.2010]. Dostupné z: < [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=5096&buxus\\_svettisku=f3f3](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=5096&buxus_svettisku=f3f3) >.
- [17] Rytectví Milan Živný [online]. c2010, poslední revize 4.9.2007 [cit. 13.4.2010]. Dostupné z: < <http://www.rytectvizivny.com/> >.
- [18] ERIKSSON, Fredrik. *Stepper motor basics* [online]. c1998 [cit. 28.11.2010].  
Dostupné z: < <http://www.solarbotics.net/library/pdflib/pdf/motorbas.pdf> >.
- [19] ŘEZÁČ, Kamil. *Krokové motory – princip funkce, metody řízení* [online]. c2002 [cit. 28.11.2010]. Dostupné z: < <http://robotika.cz/articles/steppers/cs> >.
- [20] *Stepper Motor Disassembled* [online]. c2005 [cit. 28.11.2010].  
Dostupné z: < <http://www.ducttapeeng.com/smd/smd6.htm> >.
- [21] HONCŮ, Jaroslav. *Elektropohony – přednáška 2* [online]. c2007 [cit. 28.11.2010].  
Dostupné z: < [http://dce.felk.cvut.cz/ip/prednasky/IP\\_elektropohony.pdf](http://dce.felk.cvut.cz/ip/prednasky/IP_elektropohony.pdf) >.
- [22] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005, 256 s., ISBN 80-7300-141-1
- [23] RYDLO, Pavel: *Krokové motory a jejich řízení* [online]. c2000 [cit. 1.12.2010]. Dostupné z: < <http://www.mti.tul.cz/files/ats/krok2.pdf> >.
- [24] *The Step Motor Selection Guide* [online]. c2009 [cit. 1.12.2010]. Dostupné z: < <http://www.pacsci.com/support/documents/stepper/stepsel.pdf> >.
- [25] *AT89C51ED2/RD2 datasheet* [online]. c2011 [cit. 1.4.2011]. Dostupné z: < [http://www.atmel.com/products/overview\\_mcu.asp?category\\_id=163&source=global\\_nav](http://www.atmel.com/products/overview_mcu.asp?category_id=163&source=global_nav) >

## Seznam příloh

Příloha 1. CD